UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "CUAUTITLÁN"

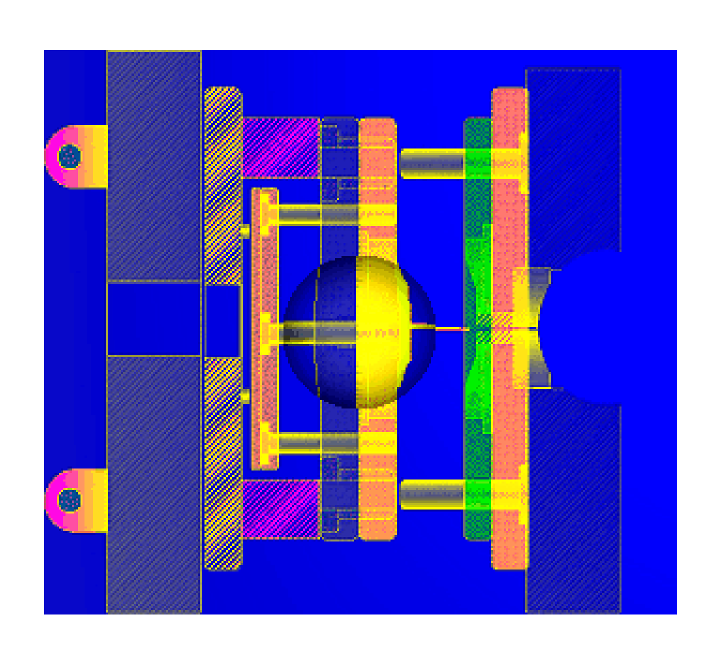


DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA



LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

"DISEÑO DE HERRAMENTAL"



M.en I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI. 2008

CAPITULO 1
MATERIALES

Los materiales de uso corriente en Ingeniería se pueden clasificar en dos grandes grupos, a saber:

- Materiales Metálicos y

- Materiales no Metálicos

Dentro del primer grupo se pueden incluir a las aleaciones ferrosas y a las aleaciones no ferrosas y dentro de los materiales no metálicos a los plásticos, los polímeros y los materiales compuestos.

1.1.- ALEACIONES FERROSAS.

Existe una gran variedad de grupos o formas de clasificar a los aceros, lo cual se puede hacer tomando en cuenta diversos factores como son el tipo y contenido porcentual de carbono, tal como se observó anteriormente, así como debido a su composición química. Por lo tanto, también se clasifican los aceros en el ámbito industrial de acuerdo a su composición química en las categorías siguientes:

1) Aceros simples al carbono.

2) Aceros de baja aleación.

3) Aceros de baja aleación–alta resistencia.

4) Aceros inoxidables.

5) Aceros para herramienta.

1.1.1.- Aceros simples al carbono.

Los aceros simples se pueden definir así.- Aleación hierro con carbono con un contenido de éste último en el rango de 0.02 hasta el 2% con pequeñas cantidades de otros elementos que se consideran como impurezas tales como P, S, Mn, si, cu, etc.

El grupo de los aceros simples al carbono se puede clasificar según el contenido de carbono: bajo, alto y medio carbono. en cada grupo existen subclases que se forman de acuerdo a la concentración de carbono como se describe a continuación.

I.-Aceros al bajo carbono (contenido de carbono menor al 0.30 %)
****Aceros con porcentaje de carbono de 0.10% a 0.15%. Denominado acero muy dulce.***
****Aceros con porcentaje de carbono de 0.15% a 0.30%. Denominado acero dulce.***

II.-Aceros al medio carbono (contenido de carbono de 0.30% al 0.70%)
****Aceros con porcentaje de carbono en el rango de 0.30% a 0.50%.***
****Aceros con porcentaje de carbono en el rango de 0.50% a 0.70%.***

III.-Aceros al alto carbono (contenido de carbono de 0.70% a 2.00%)
****Aceros con porcentaje de carbono en el rango de 0.80% a 1.00%.***
****Aceros con porcentaje de carbono en el rango de 1.00% a 1.20%.***
****Aceros con porcentaje de carbono en el rango de 1.20% a 2.00%.***

1.1.2.- Aceros de baja aleación.

Son aleaciones Fe-Fe_3C a los cuales se les adicionan otros elementos aleantes en forma deliberada, controlada y en determinadas proporciones que en conjunto totalizan como máximo un 5% en peso. Las aleaciones provocan en los aceros de baja aleación propiedades mecánicas tales como resistencia, dureza, tenacidad y combinaciones de estas propiedades; las cuales desde luego son superiores a las que se obtienen en los aceros simples al carbono. Los elementos aleantes que se añaden a la aleación ya sea en forma individual aunque por lo general es en combinación son el cromo, manganeso, molibdeno, níquel, vanadio, silicio, etc. los cuales forman soluciones sólidas con el hierro y con el carbono forman compuestos metálicos denominados carburos.

Estos aceros de baja aleación no son soldables fácilmente en especial cuando están en los niveles de medio y alto carbono.

Los efectos que provocan los elementos aleantes en los aceros de baja aleación son los siguientes:

***Cromo:** Mejora en forma significativa las siguientes propiedades: la resistencia a la corrosión, mecánica, al desgaste, así como la dureza en caliente. Además de incrementar la templabilidad.*

***Manganeso:** Mejora la templabilidad cuando el acero es sometido a un tratamiento térmico, además de mejorar la resistencia y la dureza.*

***Molibdeno:** Este elemento forma carburos para incrementar la resistencia al desgaste, incrementa la resistencia en caliente, la tenacidad, además de la resistencia a la termo fluencia. Sirve también para mejorar la templabilidad.*

***Níquel:** Mejora la dureza y la tenacidad. Adicionado significativamente mejora la resistencia a la corrosión También incrementa la templabilidad aunque no tanto como los otros elementos aleantes.*

***Vanadio:** Durante los diferentes procesos que se realicen en el acero a temperaturas elevadas o durante el tratamiento térmico inhibe el crecimiento de los granos, provocando una mejor resistencia y tenacidad en el acero. Forma carburos que incrementan la resistencia al desgaste.*

1.1.2.1.- Designación y especificación de aceros al carbono y de baja aleación .

Como la microestructura del acero determina la mayoría de sus propiedades y aquella está determinada por el tratamiento y la composición química; uno de los sistemas más generalizados en la nomenclatura de los aceros es el que está basado en su composición química.

Un sistema de clasificación y designación de aceros, entrega una identificación específica para cada grado, tipo o clase de acero, mediante una simbología bien establecida.

La mayor parte de los sistemas de designación de aceros están basados en la composición química, quedando las propiedades mecánicas como segundo atributo más importante. Una especificación se entiende como una declaración escrita de los atributos que debe poseer y de las restricciones y condiciones que debe cumplir un producto para satisfacer una aplicación determinada. Una especificación estándar es un documento público que describe un producto aceptable para muchos usuarios y que puede ser cumplida por muchos productores, los que pueden invocarla en sus contratos.

El sistema de designación de aceros más universalizado es el desarrollado por el Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI) en conjunto con la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), el cual presenta la ventaja de tener un cierto grado de sistematicidad. Por otra parte el conjunto de especificaciones estándar más ampliamente usado es el de la Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (ASTM), y en nuestro país fue aceptado como norma oficial NOM.

1.1.2.2.-Sistema de designación AISI/SAE/NOM.

Este sistema está basado en cuatro dígitos XXXX, los primeros dos números se refieren a los dos elementos de aleación más importantes de los cuales el primero designa la combinación principal de elementos aleantes, el segundo define los rangos de composición específicos y los dos o tres últimos dígitos dan la cantidad de carbono presente en la aleación en centésimas de porcentaje en peso. Los contenidos porcentuales de las aleaciones están también expresados en porcentajes de peso.Los numerales nos indican el tipo de acero.

Un acero 1040 AISI es un acero con 0.4%C; un acero 4340 AISI, es un acero aleado que contiene o.4% de carbono, el 43 indica la presencia de otros elementos aleantes.

Las convenciones para el primer dígito son:

1.-Manganeso
2.-Níquel
3-Níquel-cromo, principal aleante el níquel.
4.-Molibdeno
5.-Cromo
6 - Cromo-vanadio, principal aleante el cromo
8 - Níquel-cromo-molibdeno, principal aleante el molibdeno
9 - Níquel-cromo-molibdeno, principal aleante el níquel.

No hay aceros numerados 7XXX porque estos aceros resistentes al calor prácticamente no se fabrican.

Se observa entonces que si el primer número es 1 se sabe que es un acero al carbono; si el dígito siguiente es el 0, o sea que la designación es 10XX, se trata de un acero ordinario al carbono.

Tabla 1.1- Designación AISI-SAE-NOM para aceros simples y aleados.

NUMERALES, DÍGITOS Y TIPO DE ACERO			***CONTENIDO NOMINAL DE ALEACIÓN***
ACEROS AL CARBONO			
10XXX			***Al carbono no aleado (Mn 1.00% max)***
11XX			***Resulfurizado***
12XX			***Resulfurizado y refosforizado***
15XX			***Al carbono (1.00 a 1.65%)***
ACEROS AL MANGANESO			***% de Mn***
13XX			***1.75***
ACEROS AL NIQUEL			***% de Ni***
23XX			***3.50***
25XX			***5.00***
ACEROS AL NIQUEL-CROMO	***% de Ni***		***% de Cr***
31XX	***1.25***		***0.65 y 0.80***
32XX	***1.75***		***1.07***
33XX	***3.50***		***1.50 y 1.57***
34XX	***3.00***		***0.77***
ACEROS AL MOLIBDENO			***% de Mo***
40XX			***0.20 y 0.25***
44XX			***0.40 y 0.52***
ACEROS AL NIQUEL-CROMO-MOLIBDENO	***% de Ni***	***% de Cr***	***% de Mo***
43XX	***1.82***	***0.50 y 0.80***	***0.25***
43BVXX	***1.82***	***0.50***	***0.12 y 0.25 V 0.03 min.***

47XX	*1.05*	*0.45*	*0.20 y 0.35*
81XX	*0.30*	*0.40*	*0.12*
86XX	*0.55*	*0.50*	*0.20*
87XX	*0.55*	*0.50*	*0.25*
88XX	*0.55*	*0.50*	*0.35*
93XX	*3.25*	*1.20*	*0.12*
94XX	*0.45*	*0.40*	*0.12*
97XX	*0.55*	*0.20*	*0.20*
98XX	*1.00*	*0.80*	*0.25*

ACEROS AL NIQUEL-MOLIBDENO	% de Ni	% de Mo
46XX	*0.85 y 1.82*	*0.20 y 0.25*
48XX	*3.50*	*0.25*

ACEROS AL CROMO	% de Cr
50XX	*0.27,0.40,0.50 y 0.65*
51XX	*0.80,0.87,0.92,0.95,1.00 y 1.05*
50XXX	*0.50 ; 1.00% C mín.*
51XXX	*1.02 ; 1.00% C mín.*
52XXX	*1.45 ; 1.00% C mín.*

ACEROS AL CROMO-VANADIO	% de Cr	% de V
61XX	*0.60 , 0.80 y 0.95*	*0.10 y 0.15 mín.*

ACEROS AL TUNGSTENO-CROMO	% de W	% de Cr
72XX	*1.75*	*0.75*

ACEROS AL SILICIO- MANGANESO	% de Si	% de Mn
92XX	*1.40 y 2.00*	*0.65, 0.82 y 0.85 0.00% y 0.65% de Cr*

92XX Existen varios grados designados por SAE.
ACEROS AL BORO.
XXBXX La letra B denota al Boro

ACEROS PLOMADOS.

XXLXX La letra L denota acero plomado.

1.1.3.- Aceros HSLA (High Strength Low Allow)

Son aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación, algunas veces referidos como aceros microaleados, de hecho son una categoría especial de los aceros al bajo carbono.

Son aceros de baja aleación, solamente con un 3% del total de elementos aleantes como manganeso, cobre, níquel y cromo; y bajo contenido de carbono, entre 0.10% y 0.30% de carbono; los cuales mejoran la relación de resistencia en comparación con los aceros simples al carbono y que son más soldables que los aceros de baja aleación. Son denominados con las siglas HSLA (High Strength Low Allow) lo cual se traduce como Aceros de Baja Aleación Alta Resistencia. Como puede observarse debido a su bajo contenido de carbono no es posible realizar un tratamiento térmico en éste tipo de aceros.

1.1.4.- Aceros inoxidables

Las principales causas de la corrosión se pueden resumir en corrosión atmosférica, ácidos, álcalis y oxidación debida a altas temperaturas. En este sentido existen los llamados aceros inoxidables y los aceros refractarios resistentes a la oxidación en caliente y los empleados en la construcción de válvulas de automóviles, que deben resistir la corrosión de los productos de combustión de la gasolina, antidetonantes y la oxidación a elevadas temperaturas.

Son aceros de alta aleación que exhiben una alta resistencia a la corrosión y a la oxidación, además de combinar resistencia y ductilidad. Son aleaciones de base hierro, cuya composición química es de un 12% de cromo como mínimo, bajo contenido de carbono y porcentajes variables de níquel, molibdeno, titanio, vanadio, etc. El principal elemento de aleación es un elemento alfágeno, el cromo, con un contenido arriba del 12%, el cual forma una delgada película impermeable de óxido de cromo ($Cr_2 O_2$) la cual protege a la superficie de la corrosión. También se añade níquel, que es un elemento gammágeno, en ciertos aceros inoxidables para incrementar la resistencia a la corrosión. Formando una capa que permite pasar a través de sí misma la luz pero no agentes corrosivos como agua y oxígeno, si se rompe por causas mecánicas, se vuelve a regenerar automáticamente. El carbono refuerza y endurece el acero pero cuando incrementamos su contenido se reduce la protección contra la corrosión ya que el carbono junto con el cromo forma carburo de cromo ($Cr_{23}C_6$) el cual reduce la cantidad de cromo libre en la aleación.

Los aceros inoxidables se clasifican en los siguientes grupos:

- Aceros inoxidables martensíticos
- Aceros inoxidables ferriticos y
- Aceros inoxidables austeníticos

A continuación se mencionan las principales características de cada una de las familias de aceros antes mencionadas:

- ***Aceros Inoxidables Martensíticos***

- Poseen un contenido de cromo entre el 12 y 14 %.
- El contenido de carbono no excede 0.4 %.
- Son magnéticos
- Son tratables térmicamente (Temple y revenido).
- Poseen regular resistencia a la corrosión y a la oxidación.
- Son los más económicos dentro de los aceros inoxidables
- Según AISI-NOM se identifican mediante un 4 seguido de dos dígitos.

- ***Aceros Inoxidables Ferríticos.-***

- Poseen un contenido de cromo entre el 15 y 25 %.
- El contenido de carbono no debe exceder de 0.1 %.
- Poseen buena resistencia a la corrosión y a la oxidación
- No son tratables térmicamente
- Endurecibles mediante trabajo en frío
- Son magnéticos.
- Según AISI- NOM se identifican mediante un 4 seguido de 2 digitos.

- ***Aceros inoxidables Austeníticos***

- Poseen entre el 15 y 30 % de cromo
- También contienen níquel en un rango de 7 al 15 %.
- Y el contenido de carbono no debe exceder de 0.08 %
- Son no magnéticos
- No son tratables térmicamente

- Son endurecibles mediante tranbajo en frío

- Son caros

- Se identifican mediante un 3 seguido de 2 digitos, y los que contienen manganeso mediante un 2 seguido de 2 digitos.

Las principales aplicaciones de los aceros inoxidables son:

- Tuberías

- Recipientes de proceso

- Válvulas

- Cuchillería

- Resortes

- Artículos de ornato, etc.

La AISI designa a los aceros inoxidables en base a un esquema de numeración de tres dígitos, indicando el primer dígito el tipo general y los dos últimos dígitos indican el grado específico dentro del tipo.

Además de los anteriores existen otros tipos de aceros inoxidables los cuales se mencionan a continuación:

Aceros Inoxidables Endurecibles por Precipitación (aceros inoxidables PH): Son aleaciones hierro-cromo-níquel, la composición típica es de 17% de cromo y 7% de níquel. Contienen concentraciones de cromo del 12.25 al 18.0% y una baja concentración de carbono en un rango del 0.05 al 0.09%, además cuenta con adiciones pequeñas de aluminio, cobre, manganeso, titanio y molibdeno. La característica distintiva entre el grupo de aceros inoxidables radica como su propio nombre lo indica, en el hecho de que se pueden fortalecer con el tratamiento térmico denominado endurecimiento por precipitación. Por sus propiedades mecánicas son aleaciones utilizadas en el ámbito aeroespacial.

Sus propiedades importantes son:

- ***Resistencia a la corrosión a temperaturas elevadas.***
- ***Resistencia mecánica a temperaturas elevadas.***
- ***Endurecen por hipertemple y envejecimiento.***

***Aceros Inoxidables Dúplex:** Su estructura consiste en una mezcla de austenita y ferrita en proporciones aproximadamente equivalentes. Contienen concentraciones de carbono del 0.030 al 0.10%, de cromo del 18 al 30%, de níquel del 3.0 al 6.0% así como manganeso del 1.50 al 2.0% y molibdeno del 1.0 al 3.0%. Encuentran aplicaciones en intercambiadores de calor, bombas y plantas de tratamiento de aguas negras.*

Sus propiedades importantes son:

- ***Resistencia a la corrosión similar a los austeníticos.***
- ***Mejorada resistencia al agrietamiento por corrosión debido al esfuerzo.***
- ***La tenacidad es superior a la de los aceros ferríticos.***

1.2.- MATERIALES PARA HERRAMIENTAS:

El desarrollo en los materiales para herramientas ha evolucionado continuamente desde los años 30's del siglo pasado. Actualmente, existe un material de herramienta adecuado para optimizar el corte en una cierta pieza, bajo condiciones específicas.

Desde los tiempos en que la industria militar fue la responsable del empuje en el desarrollo de maquinaria y métodos hasta nuestros días, el manejo de las herramientas y sus materiales han contribuido al desarrollo tecnológico del corte de metal.

Tabla 1.2.- Desarrollo de los materiales para herramientas.

Materiales para las herramientas	*Período y/o comentarios*
Acero al alto carbono y acero aleado	**1900 Se reblandecían muy rápido, debido al calor generado inclusive a bajas velocidades de corte. Una operación típica de corte duraba 100 minutos**
Acero alta velocidad	**1910 El desarrollo en la metalurgia dio origen al acero alta velocidad (HSS), y en conjunción con los estudios de maquinado de Fredrick Taylor y Maunsel White se dieron los pasos decisivos en la tecnología de corte. La misma operación que antes duraba 100 minutos, se llevaba a cabo en 26 sólamente.**
Aleaciones no ferrosas	**1915 Aleaciones con el 50% de carburos, basadas en cobalto, cromo y tungsteno. Eran muy duras y resistentes a altas temperaturas (800 grados centígrados), pero muy frágiles.**

	La operación de 26 minutos requería solamente 15.
Super HSS	**1930 Velocidades de corte de hasta 70 m/min eran posibles, así como el maquinado de aluminio y magnesio.**
Carburo cementado / sinterizado	**Inicia en 1930 y la operación de maquinado típica de 26 minutos se llevaba a cabo en 6 únicamente. Los primeros desarrollos tenían carburo de tungsteno (WC) como la base dura y al cobalto como el aglomerante.** **Sin embargo, en el maquinado de acero se formaban cráteres.**
Herramientas con insertos de carburo soldados	**1940 , 1950 Eran costosas y el reafilado era necesario. Se definen grados de material de herramienta para los diferentes tipos de aplicación.**
Coronite, Cermets y nueva generación de carburos recubiertos	**Desde 1955 hasta nuestros días se han desarrollado rápidamente nuevos materiales con la misma tendencia global: La posibilidad de cortar a velocidades altas sin pérdida del filo, así como maquinar materiales más duros.**

1.2.1.- Aceros para herramientas.

Son aceros con altos niveles de elementos de aleación. Las razones principales de éste alto contenido de elementos aleantes radica en la obtención de las siguientes propiedades una vez que son tratados térmicamente.

a) Templabilidad mejorada.
b) Reducción de la distorsión durante el tratamiento térmico.
c) Dureza en caliente.
d) Formación de carburos metálicos duros para resistencia a la abrasión
e) Tenacidad mejorada.

Fueron generalmente diseñados para el ámbito industrial de herramientas de corte, dados y moldes.

Al término de la Segunda Guerra Mundial, en los Estados Unidos de Norteamérica, AISI se encargó de clasificar e identificar los aceros para herramienta de acuerdo a su aplicación y su composición tal y como se muestra a continuación:

- ***Aceros para trabajo en frío.- Los cuales a su vez se dividen en:***
    - ***Aceros templables en agua y que se identifican con la letra W***
    - ***Aceros templables en aceite identificables con la letra O***
    - ***Los aceros templables al aire que se identifican con la letra A***
    - ***Los aceros de alto cromo- alto carbono que se utilizan para la fabricación de troqueles que se identifican con la letra D.***

- ***Aceros resistentes al impacto identificables con la letra S.***
- ***Aceros para trabajo en caliente que se identifican con la letra H***
- ***Los aceros rápidos o aceros alta velocidad que pueden ser al tungsteno y al molibdeno, identificándose los primeros con la letra T y los segundos con la letra M***
- ***Los aceros para moldes que se identifican con la letra P***
- ***Los aceros de propósito general que se identifican con las letras L y F.***

A continuación se presenta una breve descripción de cada grupo:

Aceros de endurecimiento en agua (Grupo W): ***contienen carbono en concentraciones entre 0.6 y 1.4% y pequeñas cantidades de cromo o vanadio para refinar la estructura, se usan en general como herramientas de corte para aleaciones no ferrosas y cuchillos.***

Aceros resistentes a impactos (Grupo S): ***se usan en herramientas que están sometidas a impacto y por tanto deben tener buena tenacidad, es decir, resistencia al impacto. No necesariamente deben alcanzar máxima dureza. Este tipo de aceros contienen típicamente: 0.5% C, 0.5% Mo, 1.5% Cr, 2% Si.***

Aceros para trabajo en frío, templables en aceite (Grupo O): ***son muy utilizados para herramientas de trabajo en frío y matrices, donde la resistencia al desgaste y resistencia al impacto son muy importantes. Un acero muy conocido es el O1: 0.9% C, 0.5% W, 0.5% Cr, 1% Mn.***

Aceros para trabajo en frío, templables al aire (Grupo A): ***son utilizados para aplicaciones donde se requiere excepcional resistencia al impacto y buena resistencia a la abrasión, como***

por ejemplo en matrices de estampado, de extrusión y de trefilado. Un acero típico es el A2, sus aleantes son: 1% C, 1% Mo, 5% Cr.

<u>Aceros para trabajos en caliente,(Grupo H):</u> estos aceros mediante endurecimiento secundario, mantienen la dureza a alta temperatura. Es típico su uso en herramientas y matrices.

Aceros base cromo, H10: 0.4% C, 2.5% Mo, 3.25% Cr, 0.4% V.

Aceros base tungsteno, H21: 0.35% C, 9% W, 3.5% Cr.

Aceros base molibdeno, H42: 0.6% C, 6% W, 5% Mo, 4% Cr, 2% V.

<u>Aceros rápidos, (Grupos T y M):</u> son aceros altamente aleados, usados para cortes de alta velocidad. Deben mantener resistencia a alta temperatura y resistir al desgaste a esas temperaturas para mantener bordes afilados. Desarrollan carburos de tungsteno y molibdeno para mantener resistencia a alta temperatura.

Tipo T (tungsteno), T1: sus elementos aleantes son: 0.75% C, 18% W, 4% Cr y 1% V, es

utilizado en la fabricación de brocas, matrices, escariadores.

Tipo M (molibdeno), M1: 0.85% C, 1.5% W, 8.5% Mo, 4% Cr, 1% V.

Aceros para moldes (Grupo P): de todos los aceros para herramientas son los que menos carbono contienen, apenas de 0.1 a 0.3 %; además, contienen Cr, Ní y Mo. Utilizándose básicamente para la fabricación de moldes para el procesamiento de plásticos, sometiéndose en ocasiones a procesos de cementado y nitrurado

<u>Aceros para propósitos generales (Grupos L y F):</u>

Grupo L.- Contienen de 0.5 a 1.1 % de C y cantidades adicionales de Cr, Ní, W y Mo; poseen una templabilidad moderada, son tenaces y resistentes al desgaste.

Grupo F.- Contienen bastante carbono, de 1 a 1.25 5; además contienen W; su templabilidad es baja y deben templarse en agua; son resistentes al desgaste y su dureza al rojo es limitada.

1.2.2.- Materiales modernos para la fabricación de herramientas

Los materiales modernos de los que están hechos las herramientas actualmente son:

Carburo cementado

- ***Hecho con partículas de carburo unidas por un aglomerante a través de un proceso de sinterizado. (metalurgia de polvos).***
- ***Los carburos son muy duros y representan de 60% a 95% del volumen total. Los más comunes son: Carburo de tungsteno (WC), carburo de titanio (TiC), carburo de tantalio (TaC), carburo de niobio (NbC).***
- ***El aglomerante típico es cobalto (Co).***

Carburo cementado recubierto (GC)

- ***A la base de carburo cementado, se le recubre con Carburo de titanio (TiC), nitruro de titanio (TiN), óxido de aluminio (Al_2O_3) y nitruro de titanio carbono (TiCN).***
- ***Este material es un excelente compromiso entre la tenacidad y la resistencia al desgaste.***
- ***El nitruro de titanio es color oro, el carburo de titanio es gris y el óxido de aluminio es transparente.***

Cermets (CERamic / METal)

- ***Aunque el nombre es aplicable incluso a las herramientas de carburo cementado, en este caso las partículas base son de TiC, TiCN, TiN en vez de carburo de tungsteno.***
- ***En general, son carburos cementados basados en titanio en vez de carburo de tungsteno.***
- ***El aglomerante es níquel - cobalto.***
- ***Tienen una mejor resistencia al desgaste y formación de cráteres, alta estabilidad química y dureza en caliente, baja tendencia a la oxidación y a la formación del filo recrecido.***
- ***Se aplican idealmente en operaciones de copiado con sobrematariales pequeños y bien establecidos a velocidades de corte moderadas y en donde el acabado es el criterio de análisis.***

Cerámicos

- ***Ideales para el maquinado de piezas en duro y como reemplazo de las operaciones de rectificado.***
- ***Las herramientas de cerámica son duras con alta dureza en caliente, y no reaccionan químicamente con los materiales de la pieza.***
- ***Pueden maquinar a altas velocidades.***
- ***Existen dos tipos básicos de cerámica: Las basadas den óxido de aluminio (Al_2O_3) y las de nitruro de silicio (Si_3N_4)***

Coronite

- ***Este material combina la tenacidad del HSS con la resistencia al desgaste del carburo cementado.***
- ***Es muy usado en las herramientas para fresado.***
- ***Llena las aplicaciones donde el carburo cementado y el HSS no son de mucha utilidad.***

Cubic Boron Nitride (CBN)

- ***Es uno de los materiales más duros. Ocupa el segundo lugar después del diamante.***
- ***Es un excelente material de corte que combina una dureza extrema en caliente (2000 °C), excelente resistencia al desgaste y en general buena estabilidad química durante el maquinado. Es relativamente frágil, pero más tenaz que las cerámicas.***
- ***Las forjas de acero, el acero endurecido y componentes endurecidos en su superficie son algunos de los materiales ideales a maquinar con el CBN. En general, su aplicación es similar a la de las cerámicas.***
- ***Curiosamente, este material de corte debe usarse en piezas duras (48 Rockwell C ó mas), porque si los componentes son muy suaves se genera un desgaste excesivo en la herramienta. Entre mas duro sea el material menos se desgasta la herramienta. Los acabados que se obtienen en torneado son excelentes y se comparan a los del rectificado. Texturas con Ra =0.3 y tolerancias de +/- 0.01mm son obtenidas en torneado.***

- ***Si se usa refrigerante, este debe de suministrarse copiosamente alrededor de los filos cortantes, de lo contrario se recomienda trabajar en seco para evitar ruptura térmica.***

Diamante policristalino (PCD)

- ***Es casi tan duro como el diamante natural. Este diamante sintético tiene una resistencia al desgaste increíble, tanto que se usa para reavivar las piedras abrasivas de rectificado.***
- ***La vida de la herramienta es hasta cien veces mayor que la del carburo cementado.***
- ***Las desventajas son: Las temperaturas de corte no deben exceder 600 °C, no puede ser usado para cortar materiales ferrosos porque existe afinidad, no sirve para cortar para materiales tenaces.***
- ***Es un material nuevo introducido en los inicios de los 70's. Su mayor aplicación es en el torneado y fresado de aleaciones abrasivas de silicio y aluminio, cuando la precisión y el acabado son el criterio de decisión.***
- ***También se usa para maquinar otros materiales no metálicos pero abrasivos como resinas y plásticos, así como materiales no ferrosos como bronce, cobre.***

Ya que los carburos cementados (recubiertos y no recubiertos), son los más usados en las aplicaciones de maquinado, la organización internacional de normalización (ISO), establece un criterio de aplicación basado en tres grados fundamentales. (En esta clasificación no se consideran los materiales: cerámicas, coronite, CBN o PCD)

Los fabricantes de insertos para herramientas usan esta clasificación para indicarle al usuario principalmente la aplicación de maquinado. El fabricante elige su manera propia de clasificar sus insertos en relación a su composición química, dando lugar a la clasificación de los grados de los insertos propiamente dicha.

Es muy común que los grados de los insertos de dos diferentes compañías (Ej: Sandvik y Kennametal), usen el mismo código ISO, tabla 1.3, pero su apariencia, composición y rendimiento pudieran serán completamente diferentes

Tabla 1.3.- Designación ISO para insertos

Clasificación	*Aplicación*	*Operaciones y condiciones de corte*	*Tenacidad/Dureza*
Azul P	Para el maquinado de materiales de viruta larga como el acero y el hierro maleable	***P01: Torneado de acabado y barrenado, alta velocidad de corte, sección pequeña de viruta, alta calidad superficial de acabado, tolerancias cerradas, libre de vibraciones*** ***P10: Torneado, copiado, roscado, fresado, alta velocidad de corte, sección de viruta pequeña a mediana.*** ***P20: Torneado, copiado, fresado, velocidad de corte media, sección de viruta media, condiciones medianamente no favorables de corte*** ***P30: Torneado, fresado, velocidad de corte media a baja, sección de viruta media a larga, condiciones de corte no favorables.*** ***P40: Torneado, fresado, ranurado, tronzado, planeado, baja velocidad, sección grande de viruta, condiciones de trabajo muy desfavorables.*** ***P50: Donde se requiere una alta tenacidad en torneado, planeado, ranurado y tronzado. Baja velocidad de corte, sección grande de viruta, condiciones de maquinado extremadamente desfavorables.***	Desgaste Tenacidad
Amarillo M	Aplicable en el maquinado de materiales más duros como el acero inoxidable austenítico, materiales resistentes al calor, acero al manganeso, hierro aleado, etc.	***M10: Torneado, velocidad de corte media a alta, sección de viruta pequeña a mediana.*** ***M20: Torneado, fresado, velocidad de corte media, sección de viruta media.*** ***M30: Torneado, fresado, planeado, velocidad de corte media, sección de viruta media a grande.*** ***M40: Torneado, torneado de perfiles, tronzado, usado especialmente en máquinas automáticas.***	Desgaste Tenacidad
Rojo K	Para el maquinado de materiales de viruta corta como la fundición gris, y materiales no ferrosos: aluminio, bronce, plásticos, etc.	***K01: Torneado, torneado de acabado y barrenado de acabado, fresado de acabado.*** ***K10: Torneado, fresado, barrenado, mandrinado, etc.*** ***K20: Torneado, fresado, planeado, mandrinado, brochado, operaciones que requieran una herramienta muy tenaz.*** ***K30: Torneado, fresado, planeado, mandrinado, ranurado, condiciones no favorables.*** ***K40: Torneado, fresado, planeado, tronzado y condiciones altamente infavorables para el maquinado.***	Desgaste Tenacidad

CAPITULO 2

NORMAS BÁSICAS PARA DIBUJO TÉCNICO

2.1.- INTRODUCCIÓN.-

Desde los tiempos más remotos el hombre ha empleado el dibujo para comunicar ideas a sus semejantes y para registrar estas ideas a fin de no olvidarlas. Las formas más primitivas de escritura, tales como los jeroglíficos egipcios, fueron formas pictóricas.

La palabra gráfico significa "comunicación de ideas por medio de líneas o signos impresos sobre una superficie". Un dibujo es una representación grafica de una cosa real. Por consiguiente el dibujo es un lenguaje gráfico, ya que emplea imágenes para comunicar pensamientos e ideas. Debido a que estas imágenes las entienden personas de diferentes nacionalidades, se dice que el dibujo es un "lenguaje universal".

El dibujo técnico se emplea para expresar ideas técnicas o ideas de carácter práctico y es el método utilizado en todas las ramas de la industria técnica.
Aunque altamente desarrollados, los lenguajes hablados son inadecuados para describir el tamaño, la forma y las proporciones de los objetos físicos. Para cada objeto fabricado existen dibujos que describen, completa y exactamente, su conformación física, comunicando las ideas del dibujante al operario. Por esta razón se dice que el dibujo es el lenguaje de la industria.

Si el dibujo tiene como finalidad servir como medio seguro para comunicar las teorías e ideas técnicas, es esencial que los diferentes dibujantes empleen los mismos métodos, de ese modo, nació la necesidad de uniformar el trabajo realizado, así, que representantes del gobierno y de la industria relacionados con el dibujo técnico han establecido una Norma Nacional, cuya principal función es la de facilitar la realización e interpretación del dibujo técnico y cuyo uso es obligatorio dentro de la industria, escuelas técnicas y universidades dentro de nuestro país.
Por su importancia, se presenta a continuación, un resumen de dicha Norma, en donde se cubren temas como: tamaños de papel, acotaciones, vistas ortogonales, rayados,

representación de roscas, tolerancias geométricas, etc ;esperándose por lo tanto que sea de gran utilidad tanto para los estudiantes y profesores de Ingeniería de ésta Facultad, como para personas interesadas en el tema.

2,2.- NORMAS NACIONALES NOM.

Clasificación de los diseños según normas correspondientes.- Entre otros existen los siguientes tipos de dibujos técnicos:

1.-Esbozo ó croquis.- Es un dibujo que se traza normalmente a mano libre, a lápiz y que se utiliza en anteproyectos y en el taller, no se ajusta totalmente a normas y formatos.

2.- Dibujo de conjunto.- Muestra reunidos los diversos componentes que se asocian para formar un todo, no se acota y se incluye la lista de materiales.

3.-Dibujo de detalle.- Es la representación de una pieza en un todo completo, dimensiones, acabados superficiales, tolerancias, etc.

4.- Dibujo de fabricación ó taller.- Se realiza especialmente para uso de oficina o taller

2.3.-DIMENSIONES NORMALIZADAS PARA PAPELES

El sistema adoptado para obtener los diferentes tamaños de papel se basa en el sistema métrico decimal y parte de los principios siguientes: cada serie normal de medidas consiste de una sucesión formada de tal manera que cada nueva medida se obtiene dividiendo la inmediata anterior en 2 partes iguales donde la división debe ser paralela al lado más corto, en consecuencia las áreas de medidas sucesivas están en relación 2:1, existiendo 3 series básicas para papeles de dibujo que son A, B y C.

Para obtener los diferentes tamaños de la serie A (que es la más usada) se utilizan las relaciones entre las dimensiones x e y (figura 2.1) siguientes para obtener el tamaño básico A0.

y

x

$x.y = 1\ m^2$ ....(1)

$x = \sqrt{2}\ .\ y$ ....(2)

Sustituyendo (2) en (1)

$\sqrt{2}y.y = 1$

$\sqrt{2}\ y^2 = 1$

$y = (1/\sqrt{2})^{1/2} = 1/(2)^{1/4} = 0.841$ m= 841 mm

$x = \sqrt{2}\ .\ 841 = 1189$ mm

Figura 2.1.- Dimensiones básicas x e y

Y los tamaños sucesivos se enlistan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.- Tamaños de papel de la serie A

Tamaño	x (mm)	y (mm)
A0	*1189*	*841*
A1	*841*	*594.5*
A2	*594.5*	*420.5*
A3	*420.5*	*297*
A4	*297*	*210*
A5	*210*	*148*

2.4.- MÁRGENES Y CUADRO DE REFERENCIA

Los dibujos de conjunto se realizan por lo general en hojas tamaño A2 ó A3, para los dibujos de detalle generalmente se emplea el tamaño A4

En la figura 2.2a) se muestran las dimensiones para los márgenes y la ubicación del cuadro de referencia en tamaños de papel A4 y en la figura 2.2b) la ubicación del cuadro de referencia y de la lista de materiales para tamaños superiores

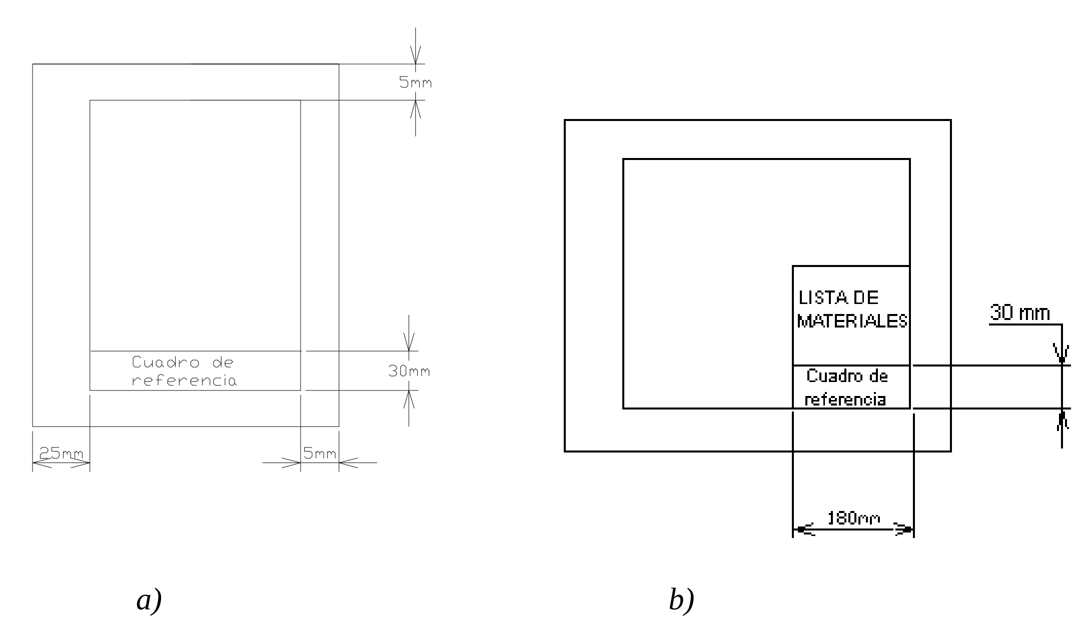


Figura 2.2.- Márgenes para hoja A4 y mayores

Las dimensiones e información que debe contener el cuadro de referencia, así como sus dimensiones, se muestra en la figura 2.3 .

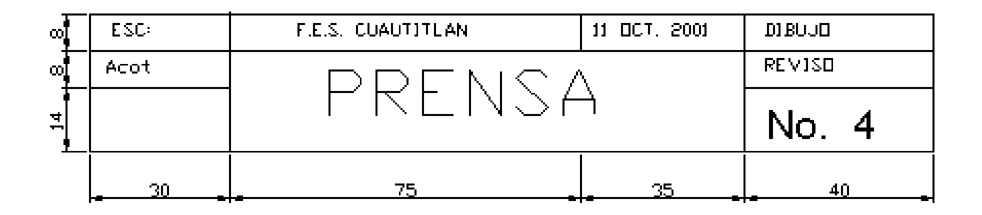


Figura 2.3.- Medidas e información contenida en el cuadro de referencia

Si se trata del dibujo de conjunto también se debe incluir la lista de materiales, la cual se dibuja directamente por encima del cuadro de referencia, como se ilustra en la figura 2.4 .

7	2	2	R□DAMIENT□	ACER□	
7	1	1	EJE PRINCIPAL	ACER□ 1045	Lista de Materiales
8	No:	CANT.	DESIGNACI□N	MATERIAL	□BSERV.
8	ESC:		F.E.S. CUAUTITLAN	11 □CT. 2001	DIBUJ□

Figura 2.4.- Lista de materiales

2.5.- ESCALAS.-

No siempre se puede dibujar una pieza a su tamaño real, por ejemplo las piezas de un reloj, los circuitos de un microchip, etc. Por el contrario hay piezas también demasiado grandes para poder ser dibujadas a tamaño real, por ejemplo, la estructura de un avión, las partes de una locomotora o simplemente el plano de una ciudad. Surge entonces la necesidad de utilizar una escala adecuada para su representación y pueden ser de ampliación o de reducción, recomendándose las siguientes:

A Tamaño real Esc.1:1

De Ampliación Esc. 2:1, 5:1, 10:1, 50:1.

De Reducción Esc. 1:2, 1:5, 1:10, 1:50, 1:100.

2.6.- TIPOS DE LÍNEA

Los rasgos distintivos de las líneas que forman una parte permanente del dibujo son las diferencias en grueso y en construcción. Las líneas deben ser claramente visibles y forman un contraste bien definido con las demás líneas. Este contraste es necesario cuando el dibujo deba de ser claro y fácil de comprender.

Todas las líneas deben ser nítidas y obscuras a fin de tener una buena reproducción. Cuando se hacen revisiones o se añade algo nuevo a un dibujo ya existente, los gruesos y las densidades de las líneas deben de coincidir con el trabajo original.

Las líneas gruesas se utilizan para representar las aristas visibles de un objeto, las interrupciones cortas, líneas espectrales y las líneas de repetición. Las líneas delgadas se utilizan para líneas de extensión, cotas , ejes, interrupciones largas, y rayados de sección. Las líneas extra gruesas se utilizan para las líneas de planos cortantes. A continuación se muestran los tipo de líneas más utilizados en el dibujo técnico:

Línea continua gruesa ━━━━━━━━ ***se utiliza en contorno de piezas y cuadro de referencia con un grosor de 0.4 a 0.5 mm (0.016" - 0.020")***

Línea continua fina ________ ***se utiliza en márgenes, líneas de cota, líneas de extensión, puntas de flecha con un grosor de 0.25 mm (0.010").***

Línea de trazos cortos — — — — — — — - ***se utiliza para representar aristas no visibles y tienen un grosor de 0.25 mm (0.010")***

Línea de centros _ . _ . _ . _ . _ . _ ***se utiliza para representar líneas de centros, ejes de simetría, etc; teniendo un grosor de 0.2 mm (0.008").***

2.7.- REPRESENTACIÓN DE UNA PIEZA

La mayor parte de las piezas que deben dibujarse son complicadas y requieren más de una vista para mostrar todas las características de la construcción del dibujo.

Algunas veces se emplea el dibujo pictórico (tridimensional), pero en la gran mayoría de los dibujos técnicos se requieren vistas múltiples para obtener una descripción completa del objeto. El dibujante debe representar las piezas tridimensionales (con anchura, altura y profundidad) en el plano del papel. Para comunicar sistemáticamente varias vistas del objeto, tales como la vista frontal, la vista lateral, y la vista superior. Los detalles se proyectan de una vista a otra. Este tipo de dibujo se denomina proyección ortogonal.
Proyección.- Este término se refiere a la representación de objetos tridimensionales en un solo plano, tal como una hoja de papel. La proyección puede ser:

- ***Ortogonal.- En la cual las líneas de proyección son paralelas***
- ***Perspectiva.- En la cual las líneas de proyección convergen hacia un punto.***

Proyección ortogonal.- En la proyección ortogonal simple, el observador está mirando perpendicularmente las caras principales, de modo que en la mayor parte de los casos no se representa sino una faceta del objeto en cada vista. Generalmente se necesitan muchas

vistas, usualmente formando ángulos rectos unas con otras, para describir completamente el objeto que se dibuja.

Este sistema de proyección se utiliza casi exclusivamente en la ingeniería mecánica y en los dibujos de productos, debido a que exige mucho menos tiempo de trabajo que otros métodos y permite dibujar cada faceta del objeto sin distorsión de la forma y a una escala exacta todas sus dimensiones.

Proyecciones pictóricas.- ***Son útiles para ilustrar productos y se emplean frecuentemente para dibujos de armado, mantenimiento y bosquejos a mano alzada. Las más importantes son: la proyección axonométrica, la oblicua y la perspectiva las cuales se describen a continuación:***

Proyección Axonométrica.- Se pueden incluir las proyecciones isométricas (figura 2.5) las dimétricas y las trimétricas y también son ortogonales ya que las líneas de proyección son paralelas, pero el ángulo de un objeto rectangular debe mostrarse en una sola vista.

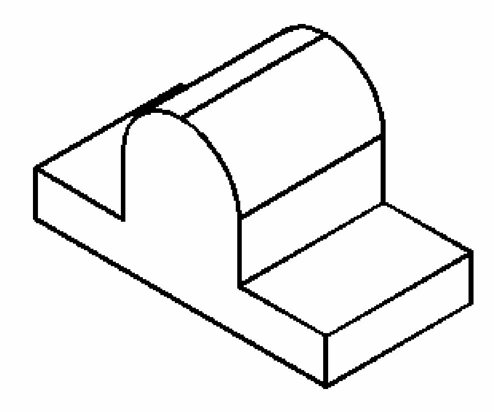


Figura 2.5.- Proyección isométrica

Proyección oblicua (caballera).- En este método de dibujo pictórico, el objeto se coloca de modo que una de sus caras es paralela al plano frontal (figura 2.6) , quedando las otras dos caras sobre planos oblicuos hacia la izquierda o hacia la derecha, hacia arriba o hacia abajo, formando un ángulo conveniente. Esta forma de proyección tiene la ventaja que muestra una cara del objeto sin deformación. Por esta razón, se debe escoger como cara frontal la que da mayor cantidad de información de la pieza a representar.

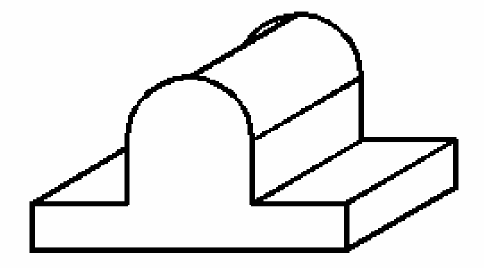


Figura 2.6.- Proyección oblicua ó caballera

Proyección perspectiva.- Es un dibujo pictórico formado por la intersección del plano de la imagen con las líneas visuales que convergen de los puntos del objeto hacia el punto de vista, el cual está localizado a una distancia finita del plano de la imagen, figura 2.7 .

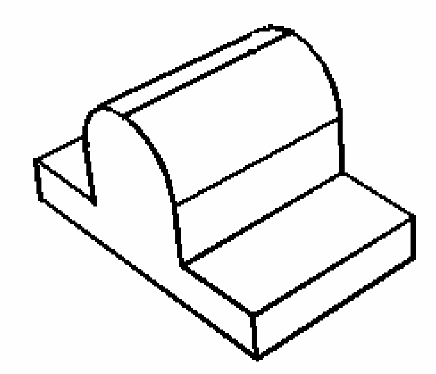


Figura 2.7.- Proyección perspectiva

2.8.- DENOMINACIÓN DE LAS VISTAS

De acuerdo a la proyección ortogonal, las vistas son los elementos básicos para la representación de un objeto según una dirección y un sentido. Del número infinito de direcciones según las cuales puede observarse un objeto se han seleccionado tres direcciones perpendiculares entre sí y sobre cada una de ellas se han considerado los dos sentidos posibles tal y como se muestra en la figura 2.8.

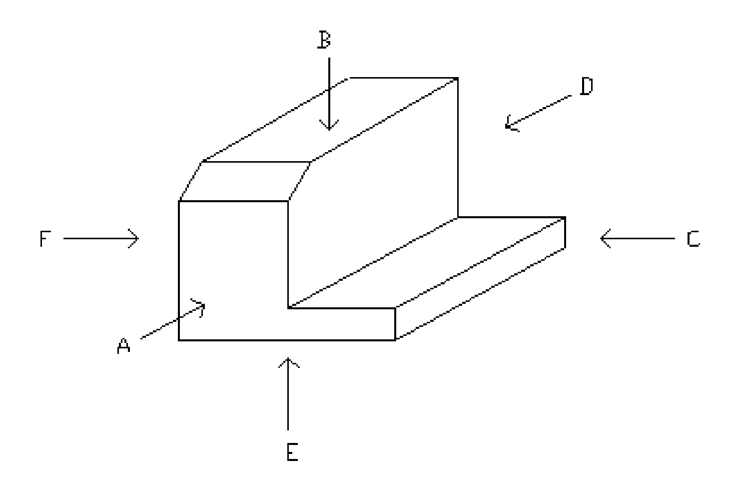


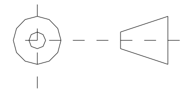
Figura 2.8.-Las 6 vistas principales

Las 6 vistas principales se designan de la forma siguiente:

- ***Según A ----------→ vista frontal***
- ***Según B ---------→ vista superior***
- ***Según C ---------→ vista lateral derecha***
- ***Según D ---------→ vista posterior***
- ***Según E ---------→ vista inferior***
- ***Según F ---------→ vista lateral izquierda***

2.9.- DISPOSICIÓN DE LAS VISTAS

Sistema Americano



La proyección ortogonal desde el tercer cuadrante se denomina también proyección Americana.

En este sistema se puede suponer que el objeto está encerrado dentro de una caja de cristal y cada vista representa lo que se mira perpendicularmente a la respectiva cara de la caja. Si cada una de las vistas se proyectara perpendicularmente a la cara de la caja correspondiente y luego la caja se desdoblara. Las vistas frontal, posterior y lateral se denominan a veces

elevaciones, por ejemplo, elevación frontal, y la vista superior se llama también planta. La vista inferior es la que se obtiene mirando el objeto desde abajo.

Si se necesita la vista posterior se puede colocar en el extremo derecho, figura 2.9.

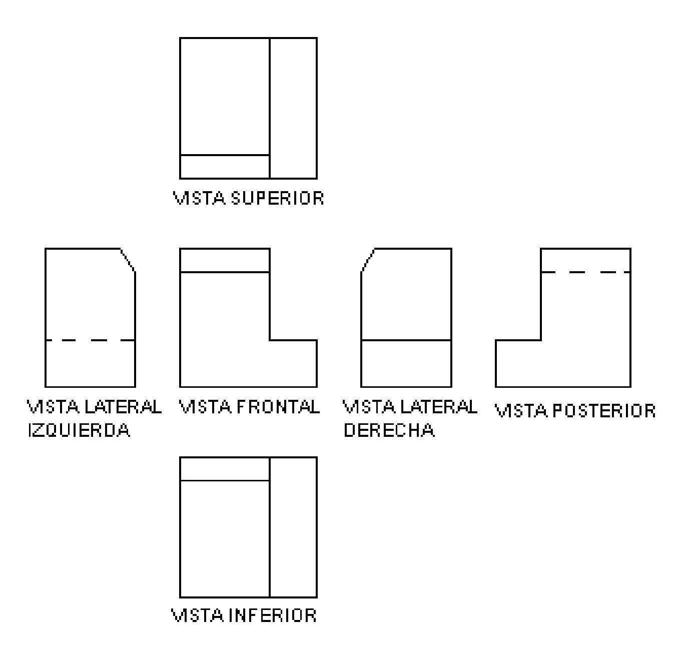
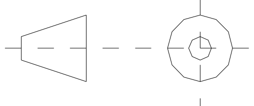


Figura 2.9.- Disposición de las vistas ortogonales de acuerdo al sistema americano

Sistema Europeo



En el sistema europeo la vista inferior se desplaza hacia arriba y la vista superior hacia abajo, la vista lateral izquierda hacia la derecha y viceversa, figura 2.10.

En esta proyección también llamada proyección desde el tercer cuadrante, se considera que el objeto ha sido volteado sobre uno de sus lados.

Cuando se desea indicar el método de proyección, se debe colocar el símbolo de proyección ISO, en la esquina inferior derecha del cuadro de referencia, adyacente al bloque de título.

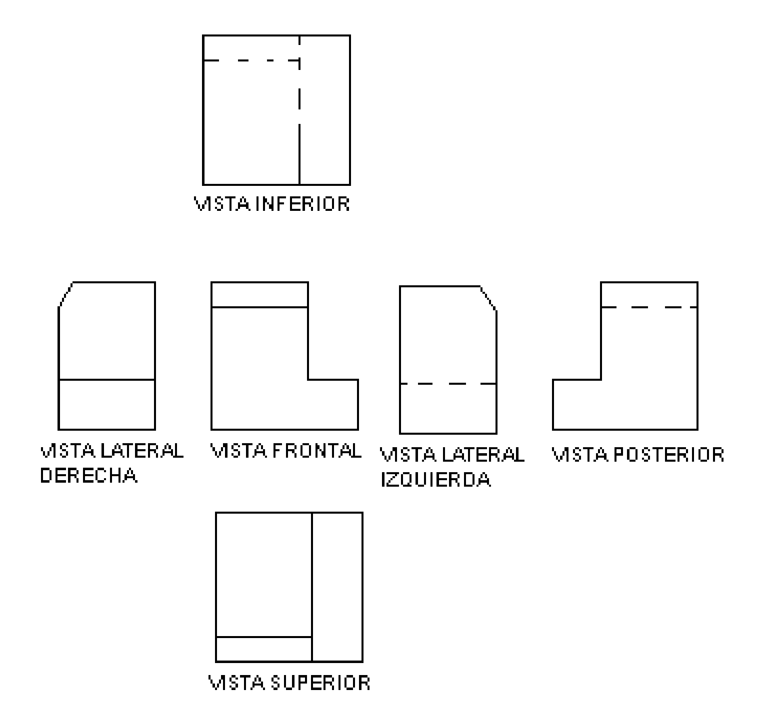


Figura 2.10.- Disposición de las vistas según el sistema europeo

2.10.- SELECCIÓN DE LAS VISTAS PARA REPRESENTAR UNA PIEZA.

Deben seleccionarse las vistas de manera muy cuidadosa siguiendo las recomendaciones que a continuación se mencionan:

a) Elegir la vista frontal de modo tal que muestra la pieza en su posición normal de uso.
b) Elegir la vista frontal de tal manera que muestre el menor número de aristas no visibles, esto es que de la mayor cantidad de información de la geometría de la pieza.
c) Cuando la pieza no tiene una posición definida en su uso dibujar la vista frontal de acuerdo a la posición que guarda durante su fabricación, tal es el caso de ejes, pasadores, pernos, tornillos, etc.
d) Elegir las vistas de forma que la pieza quede definida sin ambigüedad y que el número de ellas incluyendo los cortes sean mínimo.

Ejemplo.- Dibujar las 6 vistas principales de la pieza que se muestra en la figura 2.11 .

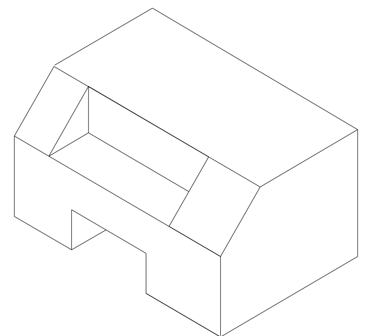


Figura 2.11.- Ejemplo

2.11.- ACOTACIONES

Si un dibujo ha de ser completo de tal manera que a partir del mismo se pueda hacer el objeto representado exactamente como lo proyecto el dibujante o el diseñador, debe decir dos historias completas. Las debe decir mediante las vistas, que describen la forma del objeto y las dimensiones y notas, dando tamaños y otra información. El dibujo muestra al objeto en su estado completo y, tanto si las vistas se dibujan a tamaño natural o a escala, las dimensiones deben ser las reales del objeto acabado. El trabajo del taller es producir el objeto exactamente como muestra el dibujo. Si el dibujo está equivocado, el objeto se hará equivocado.

Recuérdese que las dimensiones son por lo menos tan importantes como las vistas del objeto y la exactitud es absolutamente necesaria. No debe cometerse el error de dar simplemente las dimensiones que se utilizan para hacer el dibujo, se deben proporcionar las dimensiones que el operario va a utilizar al hacer la pieza.

Acotación: es el sistema mediante el cual se indica en un dibujo las dimensiones geométricas (de longitud y ángulos) de un elemento, pieza, o ensamble, la cota es el valor de la dimensión.

Acotación de definición: es el conjunto de cotas necesarias y suficientes para definir las dimensiones de una pieza.

El sistema de acotación está formado fundamentalmente por los siguientes elementos (figura 2.12):

- ❖ *Línea de cota*
- ❖ *Línea de extensión*
- ❖ *Punta de flecha*
- ❖ *La cota (dimensión)*

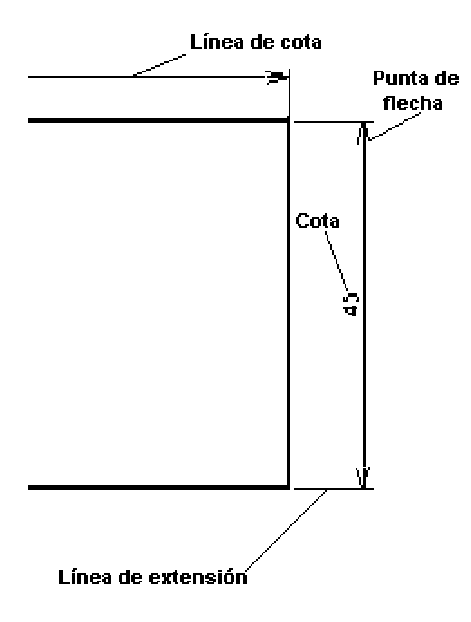
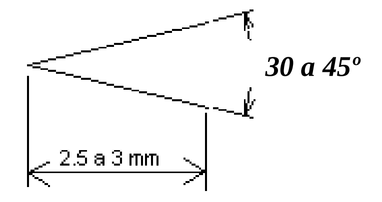


Figura 2.12.- Elementos básicos de un sistema de acotación

Líneas de cota.- Se dibujan con línea continua fina, a una distancia de 6 a 10 mm con respecto a las aristas de la pieza, siendo esta separación lo más uniforme posible en todo el dibujo.

Líneas de extensión.- Deben exceder en aproximadamente 2 mm a las líneas de cota y deben tocar a las aristas de la pieza, aunque normalmente se deja una separación de 1 a 2 mm con respecto a las mismas.

Puntas de flecha.- Se trazan en los extremos de las líneas de cota a un ángulo entre 30 y 45º y con una longitud de 2.5 a 3 mm en formato A4.



Las cotas.- ***en los dibujos a escala 1:1, en formato A4 tienen aproximadamente 4 mm de altura, dibujándose siempre sobre la línea de cota, de izquierda a derecha en las cotas horizontales y de abajo hacia arriba como se muestra en la figura .***

2.12.- RECOMENDACIONES GENERALES

- ***En general se procura escribir las cotas fuera de las líneas del contorno del dibujo (figura 2.13), que las líneas de extensión y de cota no corten las líneas del dibujo, también se debe evitar repetir una cota a menos que sea necesario.***

- ***No debe acotarse sobre aristas no visibles y finalmente debe evitarse a la persona que este interpretando el dibujo toda operación matemática o lo que es peor, realizar mediciones directas sobre el dibujo. Todas las cotas de un dibujo deben expresarse en las mismas unidades , debiéndose indicar las tolerancias donde sea necesario.***

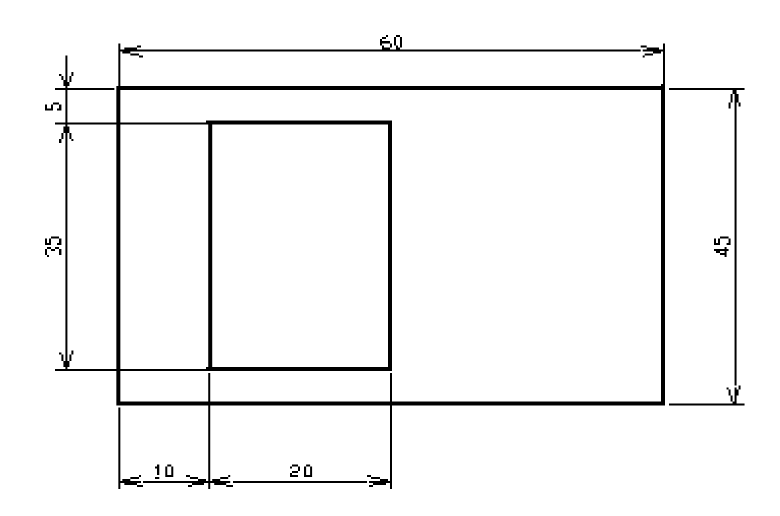


Figura 2.13.- Acotación adecuada de una pieza

2.13.- ACOTACIÓN DE ÁNGULOS

- ***Las medidas de los ángulos se darán en grados y cuando sea necesario en minutos y segundos.***
- ***Las líneas de cota en este caso son arcos cuyo centro se localiza en el vértice del ángulo, figura 2.14.***
- ***En piezas planas se deben indicar el ángulo que existe entre aristas.***

- ***Si los ángulos tienen una línea de centros se indicará la distancia a partir de la arista de la pieza.***
- ***Los ángulos centrados se acotan una sola vez por ejemplo 120° y no dos veces 60 °.***

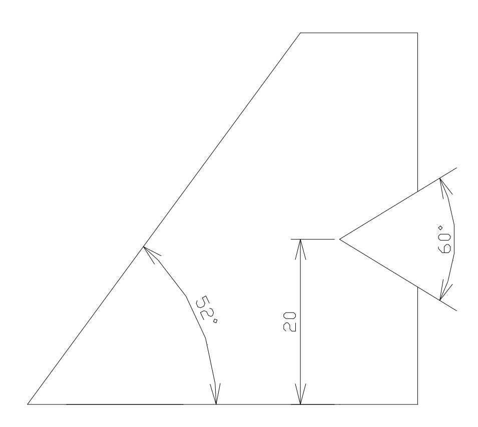


Figura 2.14.- Acotación de ángulos

2.14.- ACOTACIÓN DE CÍRCULOS

Los círculos se deben acotar de acuerdo a su tamaño tal y como se describe a continuación:

Círculos grandes .- Se puede hacer de 2 formas, a saber:

- ***Con una línea de cota, cuyos extremos tocan por dentro la circunferencia del círculo***
- ***Con ayuda de líneas de extensión (figura 2.15)***

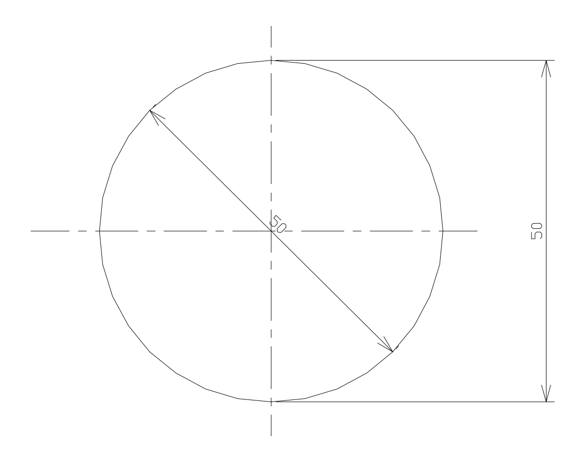


Figura 2.15.- Acotación de círculos grandes

Círculos medianos.- Se utiliza una línea de cota que atraviesa por completo al círculo, y con las puntas de flecha tocándolo desde afuera como se muestra en la figura 2.16 .

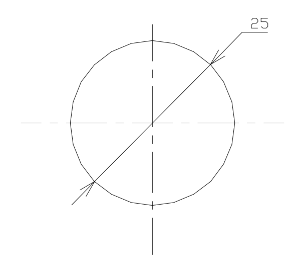


Figura 2.16.- Acotación de círculos medianos

Círculos pequeños.- La línea de cota no atraviesa al círculo, y se antepone la letra D a la cota correspondiente, figura 2.17 .

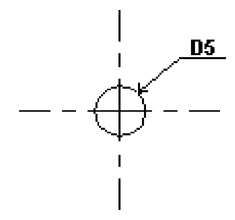


Figura 2.17.- Acotación de círculos pequeños

2.15.-ACOTACIONES DE RADIOS DE ARCO

- ***En principio, los radios reciben sólo una flecha, colocada de preferencia en el lado interno del arco, figura 2.18.***
- ***Si el centro del arco se marcará mediante el cruce de líneas de centro, la línea de acotación comienza sin flecha en el centro y termina con flecha en el arco.***
- ***Se puede determinar el centro por medio de un círculo que tiene un diámetro de 1 mm, con un espesor de línea de 0.2 mm o por medio de un punto***
- ***Si se dispone de espacio suficiente la flecha se apoyará en el arco por dentro y a falta de espacio la flecha se podrá anotar por fuera del arco, entonces, la línea de cota se trazará directamente hasta el centro.***
- ***Para radios pequeños, de hasta 2.5 mm inclusive y radios grandes cuyo centros queden en otra vista o fuera del papel , no se determina el centro y para evitar confusiones con la acotación del diámetro se escribe una R mayúscula al final de la acotación, por ejemplo, 2R ó 2.5R***

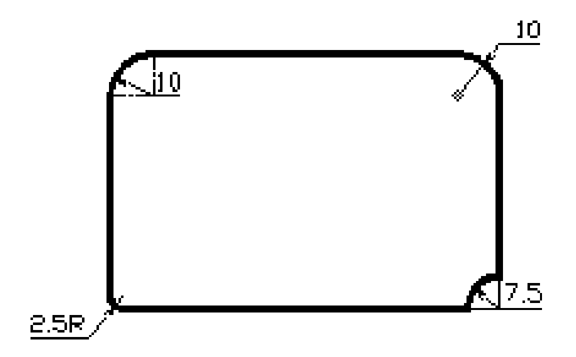


Figura 2.18.- Acotación de radios de arco.

2.16.- ACOTACIÓN DE UN BARRENO OVALADO

Los barrenos ovalados tienen siempre tres líneas de centro, acotándose la longitud del barreno y la distancia entre las líneas de centro paralelas. La posición del barreno ovalado en la pieza se determina por sus líneas de centro como se puede ver en la figura 2.19.

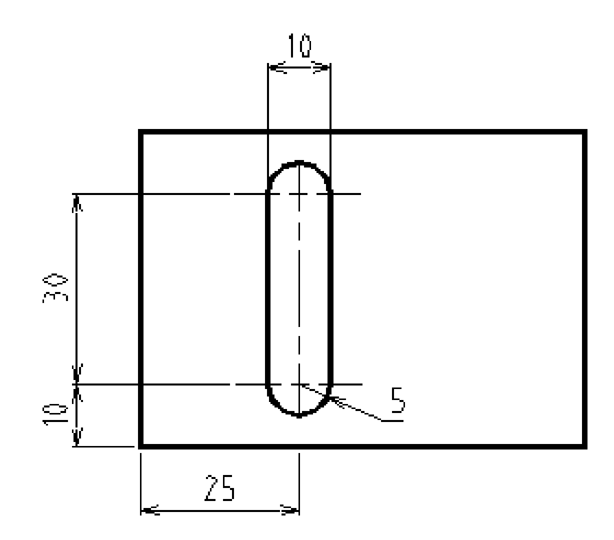


Figura 2.19.- Acotación de barrenos ovalados

2.17.- ACOTACIÓN DE BARRENOS IGUALES Y SU PROFUNDIDAD.

Cuando se trata de acotar agujeros de igual diámetro se hace de la forma que se muestra en la figura 2.20, basta con indicar la ubicación de uno de los agujeros y el diámetro del mismo (asumiendo que todos son simétricos y de igual diámetro); en lo referente a la profundidad se hace uso de vistas en corte o de cortes parciales y se acotan en forma normal, ya que de otra

manera las líneas que indican la profundidad del agujero son ocultas y como ya sabemos , no está permitido acotar sobre líneas de ese tipo.

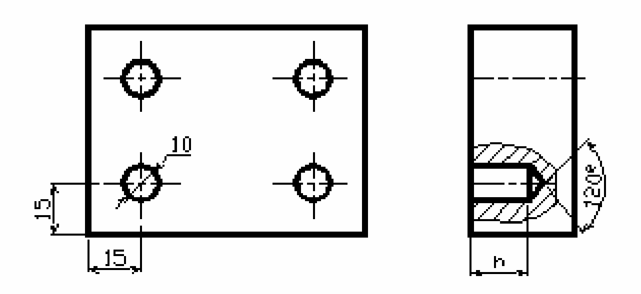


Figura 2.20 .- Acotación de agujeros iguales

2.18.- RAYADO O ACHURADO.

Elementos básicos para la identificación de superficies.- Los rayados se utilizan para identificar las superficies de corte o secciones de una pieza. Los rayados se hacen con línea continua fina separada a intervalos uniformes que se eligen en función del tamaño y la complejidad de las superficies de corte o sección.

Inclinación de los rayados.- Los rayados se trazan a una cierta inclinación en relación a los ejes o líneas principales del contorno de corte o sección preferentemente a 45° o bien a 30° ó 60°, figura 2.21.

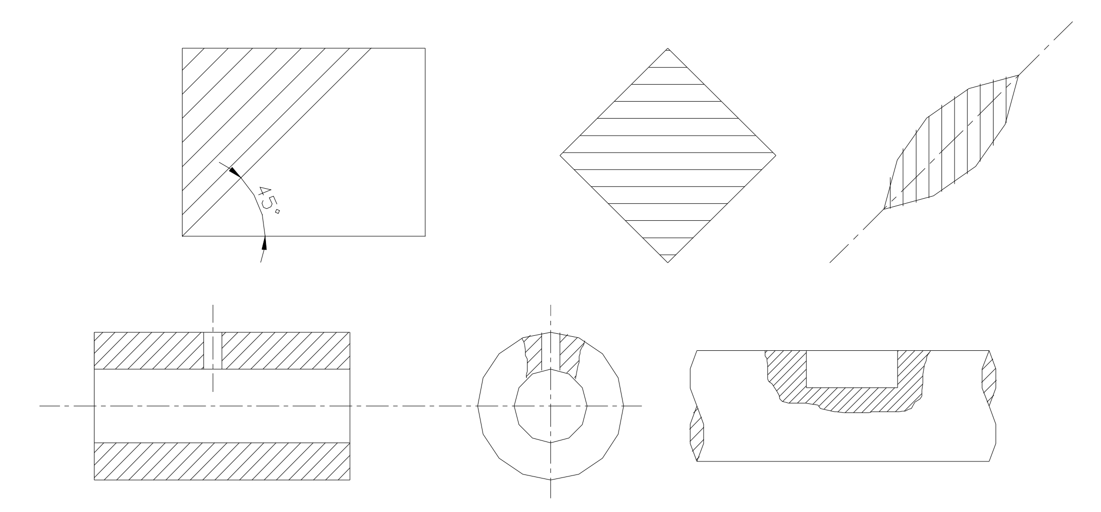


Figura 2.21.- Inclinación de los rayados

Las secciones de poco espesor ***se deben ennegrecer completamente y en el caso de secciones contiguas se deja una pequeña separación en blanco, figura 2.22.***

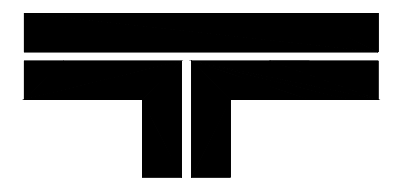


Figura 2.22.- Rayado de secciones de poco espesor

Superficies amplias.- ***Cuando se trata de superficies grandes el rayado puede reducirse a una franja trazada en el interior del contorno de la superficie cortada, figura 2.23.***

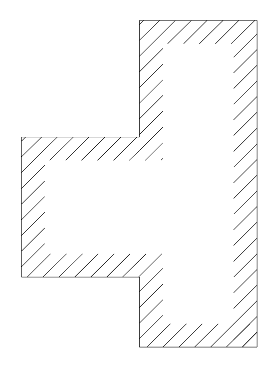


Figura 2.23.- Rayado de superficies amplias

Piezas y conjuntos.- ***Todas las superficies cortadas de una misma pieza en una o varias vistas se rayan de la misma manera. Las superficies cortadas contiguas de piezas distintas se rayan cambiando la orientación, el intervalo o ambos, figura 2.24.***

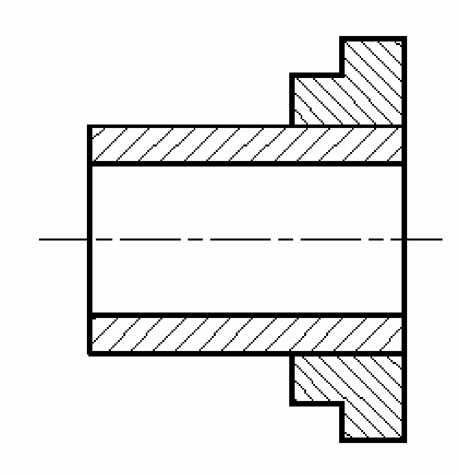


Figura 2.24.- Rayado de conjuntos

***Naturaleza de los materiales*.- El rayado en principio no tiene ningún significado convencional en cuanto a la naturaleza de los materiales la cual debe especificarse preferentemente en la nomenclatura del dibujo.**

***Rayados particulares*.- Con el fin de facilitar la comprensión del dibujo de conjunto y siempre que el costo de la operación lo permita además de que no se prevean futuros cambios en el dibujo para diferenciar los distintos grupos de materiales se pueden utilizar los rayados que se muestran en la figura 2.25.**

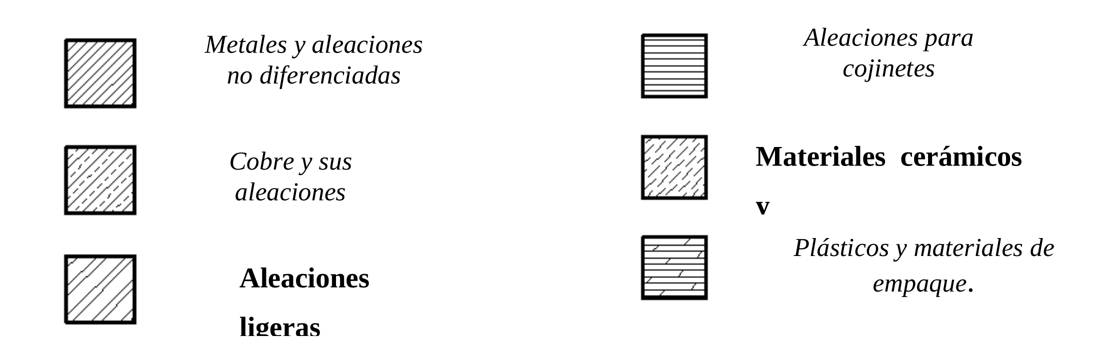
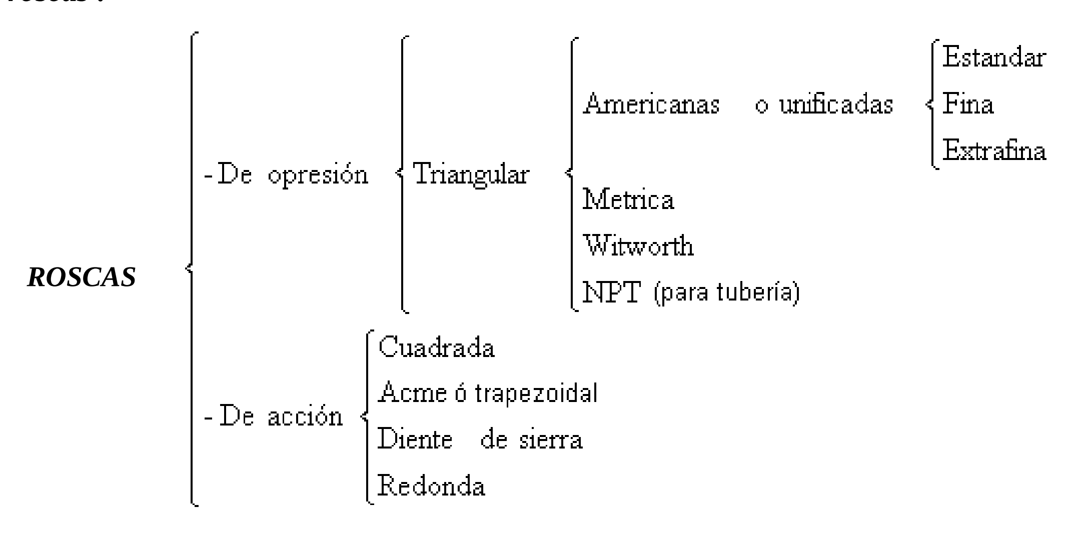


Figura 2.25.- Rayados particulares

2.19.- TIPOS DE ROSCAS

Según la forma del corte transversal del perfil del diente se distinguen los siguientes tipos de roscas :



Representación de las roscas.-

Antiguamente las roscas se representaban dibujando todos los hilos de la misma lo cual era muy difícil y tardado, hoy en día solo se utilizan símbolos para su representación.

Roscas externas.-** **Se dibuja el diámetro externo o nominal con línea continua gruesa, mientras que la rosca se representa con línea continua fina. Para las roscas métricas, el tamaño nominal se acota como si fuera un diámetro, anteponiendo la letra M; mientras que para las roscas americanas se traza una línea a partir de la rosca y sobre una línea horizontal se indica el tamaño nominal de la rosca, figura 2.26.

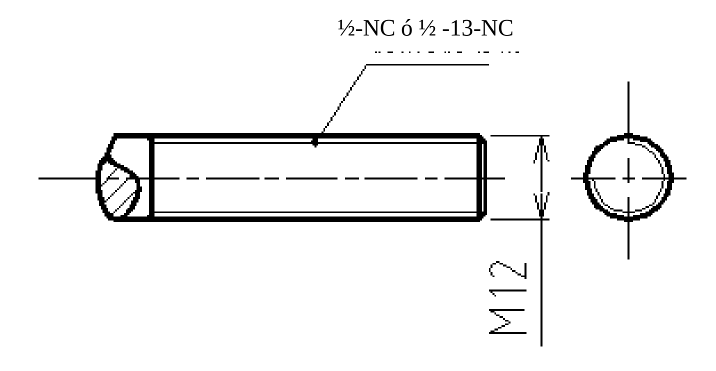
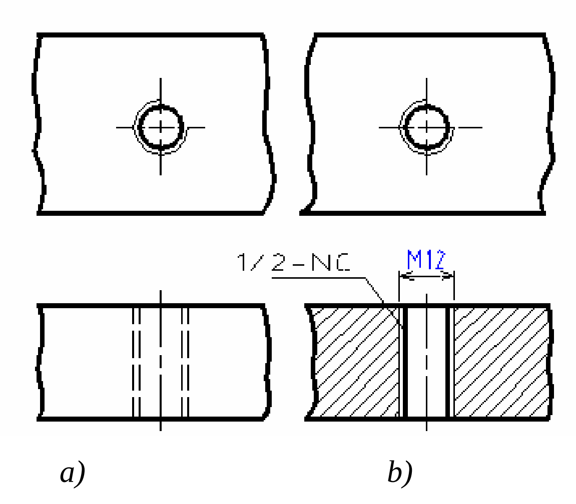


Figura 2.26.- Representación de roscas externas.

Roscas internas*.- Normalmente las roscas internas se cortan a partir de barrenos realizados previamente. Se dibuja el diámetro del núcleo con líneas de trazos cortos en vistas no cortadas y con línea continua gruesa cuando se representa en corte, figura 2.27.

El diámetro exterior de la rosca se dibuja con línea continua fina cuando se representa en corte debiéndose mencionar que el rayado solo llega hasta la línea del diámetro exterior. En los barrenos que no atraviesan (agujero ciego) se dibuja también la punta del barreno (120°), figura 2.28.



a) *b)*

Figura 2.27.- a) Representación de roscas internas sin corte
b) Representación de roscas internas en corte

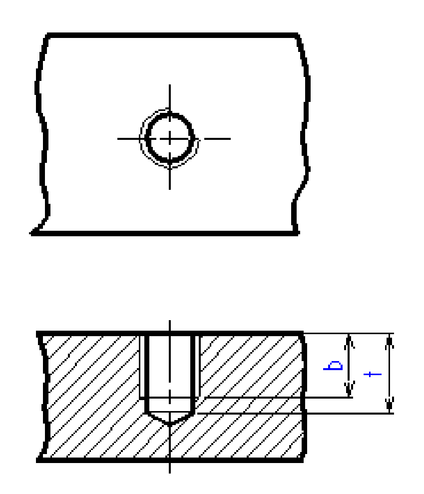


Figura 2.28.- Representación de agujeros ciegos.

Para que haya lugar para las virutas del roscado la profundidad del barreno t siempre debe ser mayor que la longitud útil de la rosca b variando según el diámetro de la rosca y el tipo del material dicha magnitud se puede calcular con ayuda de la tabla 2.2.

Tabla 2.2.- Calculo de la longitud de la rosca , en función del diámetro nominal

b =1xd	*Acero o bronce*
b =1.25xd	*Acero fundido*
b =2xd	*Aluminio*
b =2.5xd	*Metales blandos*

Donde:

d = Diámetro nominal de la rosca

b = Profundidad de la rosca

t = Profundidad del agujero

<u>Representación de un perno en un agujero roscado</u>.- Se tiene que representar el perno, la rosca interna y el barreno previo como se muestra en la figura 2.29.

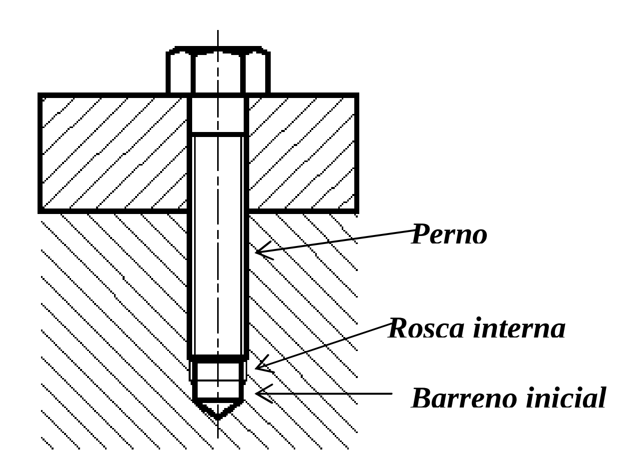


Figura 2.29.- Representación de un perno en un agujero roscado

2.20.- SÍMBOLOS DE ACABADO

En el dibujo o esbozo de una pieza se debe conocer el tipo de superficie, esto es, si esta en bruto, maquinada o tratada, así como su calidad, o sea, uniformidad y rugosidad. Los símbolos de acabado y las observaciones escritas no determinan el uso de cierto proceso, solo se refieren al

estado de la superficie. En la tabla 2.3 se muestran los símbolos usados de acuerdo al estado de la superficie.

Tabla 2.3.- Símbolos de acabado de acuerdo al estado de la superficie.

SÍMBOLO	ESTADO DE LA SUPERFICIE	PROCESO
	Conformado sin Arranque de viruta	*Laminado, forjado, extrusión, estirado, fundición.*
~	*En bruto, pero sin rebabas Pieza extraída de fundición.*	*Los defectos no permisibles se eliminan por medio de lima o esmeril*
▽	*Desbaste*	*Corte de material, las huellas dejadas por la herramienta se aprecian a simple vista. Velocidad de corte- Pequeña, Profundidad de corte- Grande, Avance- Grande*
▽▽	*Afine o alisado*	*Las huellas dejadas por la herramienta se siguen apreciando a simple vista. Velocidad de corte-Grande, Profundidad de corte Pequeña, Avance- Pequeño.*
▽▽▽	*Rectificado o maquinado en maquinas CNC.*	*Las huellas dejadas por la herramienta ya n se perciben a simple vista*
▽▽▽▽	*Súper acabados*	*Pulido Bruñido Lapeado.*

Notas: En principio, toda superficie al ser trabajada recibe los símbolos correspondientes que son un poco más pequeños que las cotas; los vértices de los triángulos indican la línea que representa la superficie al ser trabajada y en el caso que no haya espacio suficiente, se prolonga la arista con una línea de extensión fina y en ella se anotan las señales de fabricación ó acabado. Cuando se ha

previsto la misma calidad de superficie para todas las caras de la pieza se dibuja sólo un símbolo de trabajo junto a la designación de la pieza, esto, en el cuadro de referencia. El símbolo principal de trabajo es mayor que los símbolos de superficie, esta forma de indicar el símbolo de superficie se puede utilizar, no obstante que para algunas superficies se indique otra calidad. Estos símbolos se anotan:

a) Entre paréntesis después de la señal principal de trabajo

b) Y en la línea de superficie después que se va a trabajar, en tamaño normal.

2.21.- SUPERFICIES FUNCIONALES Y SUPERFICIES NO FUNCIONALES.-

Sea un conjunto mecánico compuesto por un bastidor o chasis, una chumacera y un árbol o eje que gira a una velocidad n, como el que se muestra en la figura 2.30 . De acuerdo a la función del conjunto se pueden distinguir dos tipos de superficie, a saber:

a) Superficies funcionales

b) Superficies no funcionales

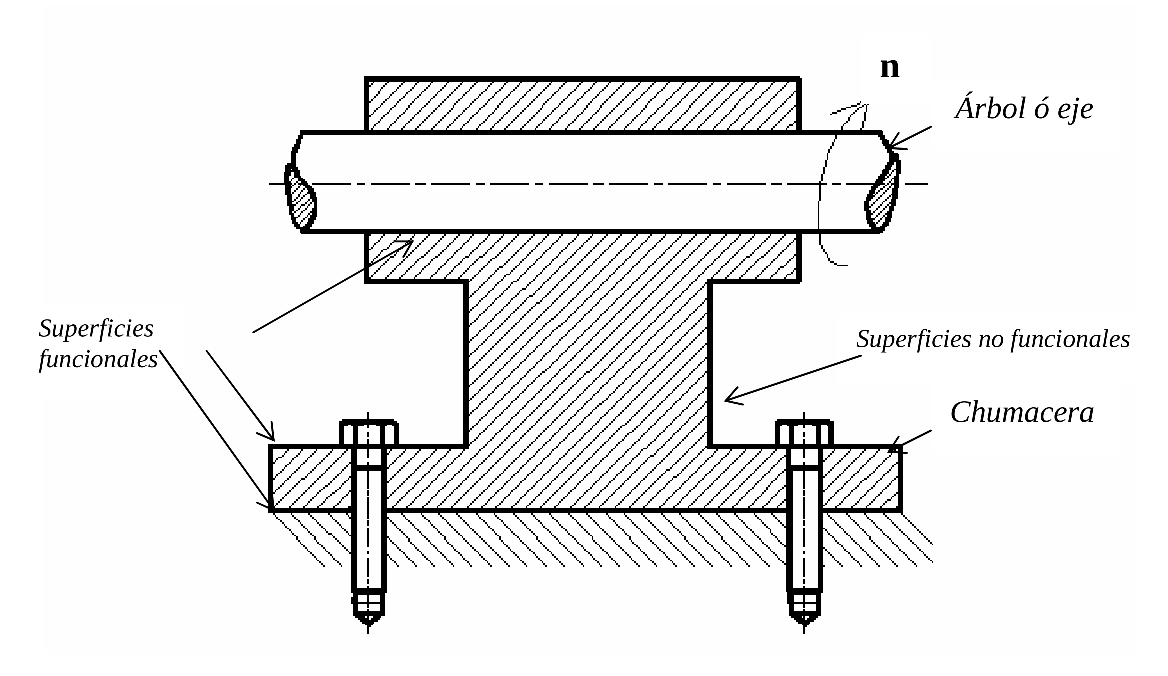


Figura 2.30.- Superficies funcionales y superficies no funcionales

Las superficies funcionales deben de tener un mejor acabado ya que se emplearán como superficies de deslizamiento, superficies de apoyo, asentamientos, etc. En las superficies no funcionales se puede permitir una menor calidad ya que no van a realizar alguna tarea específica.

2.22.- AJUSTES Y TOLERANCIAS.-

Como se puede apreciar en la figura 2.30 , la función del soporte es la de guiar y soportar al árbol, por lo que ambos elementos tendrán superficies de contacto comunes, las cuales serán D para el agujero y d para el árbol o eje (lógicamente D > d). Sin embargo no se puede utilizar el mismo criterio si el conjunto pertenece a una carretilla de mano o si pertenece a un motor de avión.

Existen muchos procesos de fabricación, unos más precisos que otros, pero ninguno logra una dimensión exacta, esto es, cualquier proceso de fabricación lleva implícito un grado de error debido a las causas siguientes:

1) ***La misma máquina esta compuesta de componentes imprecisos.***
2) ***La herramienta, la cual sufre un desgaste.***
3) ***Las deformaciones que sufre la pieza al ser maquinada, debido a esfuerzos y calentamientos***

Por otro lado, para que una pieza cumpla de manera adecuada con la función para la cual fue creada no es necesario que tenga una dimensión exacta, es suficiente que la dimensión real o efectiva se encuentre dentro de ciertos límites bien definidos.

2.22.1.- Conceptos de dimensión real, dimensión nominal, dimensión máxima y dimensión mínima.

Imaginemos que se solicita a un tornero un eje con un diámetro de 35 mm, por lo que se acaba de mencionar difícilmente nos va a entregar el eje con una dimensión igual a 35.000 mm. Se tiene entonces que especificar una dimensión máxima y una mínima, pero debe hacerse de tal modo que el eje aún cumpla con su función de manera adecuada.

- ***Dimensión nominal.- Es la dimensión que sirve para designar el tamaño de un eje o un agujero.***
- ***Dimensión real o efectiva.- Es el tamaño real que va a tener el eje o el agujero ya maquinados.***
- ***Dimensión máxima.- Es la dimensión más grande que puede tener el eje o el agujero.***
- ***Dimensión mínima.- Es la dimensión más pequeña que va a tener el eje o el agujero.***
- ***Intervalo de tolerancia.- Es la diferencia que existe entre la dimensión máxima y mínima.***

Ej. 35.000^{+35}_{-20}

Nota.- La dimensión nominal no debe tener un valor arbitrario, conviniendo que pertenezca a la serie de Renard, con la finalidad de encontrar en el comercio especializado componentes normalizados.

2.22.2.- Sistema ISO de tolerancias y ajustes.

Las siguientes notas se han elaborado tomando como base las normas ISO P286-1963 y la norma DGNZ23P-1973, que en general se refieren a las tolerancias dimensiónales de piezas lisas y a los ajustes correspondientes a su ensamble.

En lo sucesivo, los términos árbol y agujero definen respectivamente el espacio contenido y el espacio continente entre dos caras o planos tangentes. Debe mencionarse que las piezas pueden ser de sección cilíndrica, pero pueden ser de cualquier otra forma, por ejemplo, el ancho de una ranura, el espesor de una cuña, etc. Por sencillez y dada su importancia el sistema se explicará a través de piezas cilíndricas.

Los valores de dimensión nominal se han agrupado en trece escalones que van desde menor o igual a 3 mm hasta 500 mm. Al grado de precisión necesario se le llama calidad y el sistema ISO habla de calidad 1 hasta 17, 1 mejor calidad – 17 peor calidad.

En la tabla 2.4 se proporcionan los valores de las calidades que se pueden obtener en máquinas en buen estado.

Tabla 2.4.- Calidades que se pueden obtener en distintas máquinas en buen estado

Maquina	***Calidad***
Torno paralelo	***7***
Torno revólver	***8-9***
Torno semiautomático	***7-8***
Fresadora	***7***
Brochadora	***7***
Taladro con broca	***11***
Taladro con rima o escariad	***7***
Rectificadora	***5-6***
Maquinas CNC	***4-6***

En el sistema ISO la tolerancia de cada escalón de dimensiones puede tener 28 distintas posiciones representada cada una de ellas por medio de letras, mayúsculas para agujeros y minúsculas para árboles o ejes.

En el caso de los agujeros, las primeras letras del alfabeto representan la posición de la tolerancia, siempre por encima de la dimensión nominal (agujero más grande). El agujero H representa la posición de la tolerancia con desviación inferior nula y las últimas letras del alfabeto proporcionan siempre agujeros más pequeños con respecto a la dimensión nominal, figura 2.31 .

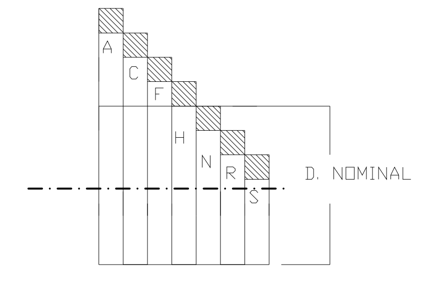


Figura 2.31.- Tolerancias para agujeros.

Para los árboles, las primeras letras del alfabeto representan la posición de la tolerancia siempre por debajo de la línea 0 (árboles más pequeños), el árbol h tiene una desviación superior nula y las últimas letras del alfabeto proporcionan siempre árboles más grandes. En la figura 2.32 se muestran las zonas de tolerancia por letra para árboles.

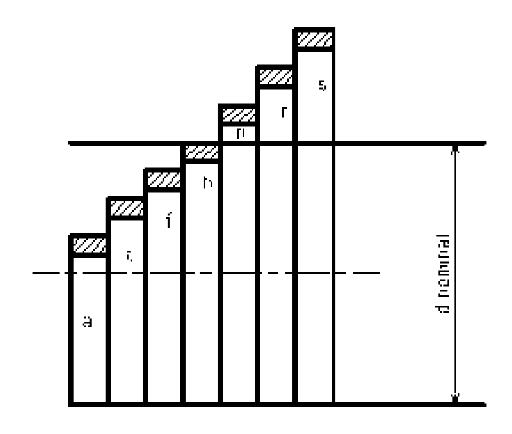


Figura 2.32.- Tolerancias para árboles

2.22.3.- Designación de la tolerancia

Al designar la tolerancia, primero se indica el valor de la dimensión nominal, después , la letra que representa la posición de la tolerancia y finalmente el número que indica la calidad o grado de precisión necesario. A continuación se muestran dos ejemplos de designación de tolerancia:

35 H8 *Tolerancia para un agujero de 35 milímetros de diámetro*

20 e8 *Tolerancia para un árbol de 20 mm de diámetro*

2.22.4.- Ajustes.

El ensamble de 2 piezas con la misma dimensión nominal constituye un ajuste. Dependiendo de la posición de la tolerancia en cada elemento, el ajuste puede ser:

a) Ajuste con juego

b) Ajuste incierto

c) Ajuste con apriete

Ajuste con juego.- Asegura siempre el juego entre las dos piezas, la zona de tolerancia del agujero esta enteramente por encima de la zona de tolerancia del árbol, figura 2.33.

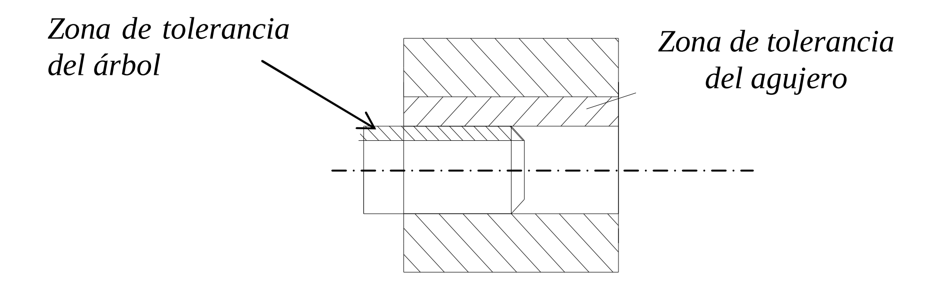


Figura 2.33.- Ajuste con juego

Ajuste incierto.- En este tipo de ajuste, a veces se puede obtener juego, a veces apriete, ya que existe un traslape en las zonas de tolerancia, figura 2.34.

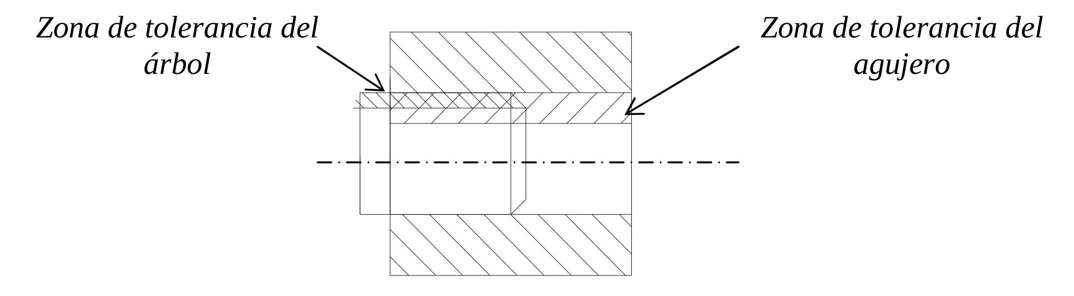


Figura 2.34.- Ajuste incierto

Ajuste con apriete.- ***Se asegura un apriete entre los dos elementos, la zona de tolerancia del agujero esta completamente por debajo de la zona de tolerancia del árbol, figura 2.35.***

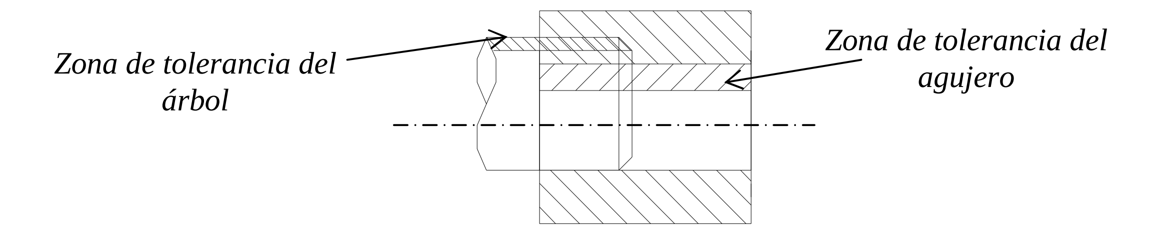


Figura 2.35.- Ajuste con apriete

CAPÍTULO 3
HERRAMIENTAS DE CORTE.

3.1.- GEOMETRÍA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE.

De la naturaleza de la herramienta de corte así como de la geometría de su parte activa y su posición con respecto a la superficie por maquinar, dependerá en gran parte la calidad del trabajo realizado y la economía de la operación. El estudio detallado de la influencia de la variación de cada uno de los elementos geométricos en juego. Muestran que en efecto la parte activa de la herramienta difiere según la operación a realizar, por ejemplo, no será lo mismo para el cilindrado que para el tronzado, o para el barrenado o el roscado.

Por razones de rendimiento o de comodidad algunas herramientas poseen filos cortantes múltiples, sin embargo dado que cada uno de estos filos posee las mismas características que una herramienta simple. Los principios establecidos para estas son validos para las herramientas multifilos.

3.2.- GEOMETRÍA DE LA PARTE ACTIVA DE LA HERRAMIENTA.

La herramienta es la cuchilla la cual se caracteriza por su arista cortante rectilínea. Paralela al plano de base y perpendicular al cuerpo de la herramienta, figura 3.1.

Se supondrá montada en un cepillo durante una carrera de trabajo por lo que el único movimiento que tiene es el de corte.

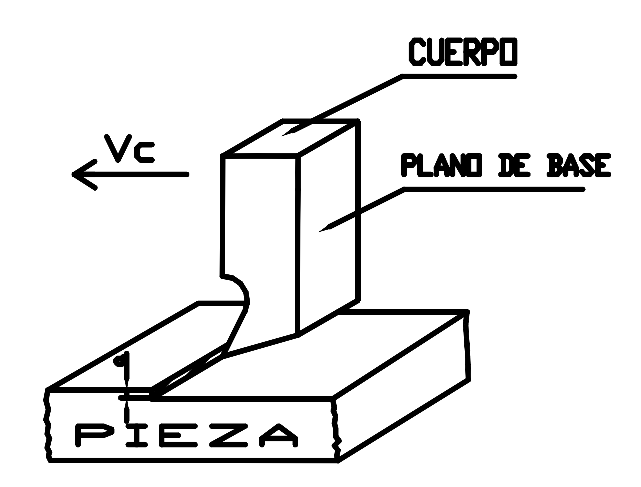


Figura 3.1.- Parte activa de la herramienta

NOTAS: La parte activa de la herramienta tiene la forma de una cuña que penetrando en el material separa una capa de la masa adyacente la cual puede tener la forma de un rizo continuo o fragmentado llamado viruta. **La arista cortante paralela al plano de base es la intersección de dos caras la cara de incidencia y la cara de salida sobre la que se apoya y desliza la viruta.**

La cara de incidencia forma con la superficie trabajada el llamado ángulo de incidencia (ángulo α). La cara de incidencia y la cara de salida forman el ángulo de corte o de filo (ángulo β) finalmente, la cara de salida forma con un plano paralelo al plano de base el llamado ángulo de salida, ángulo γ, figura 3.2.

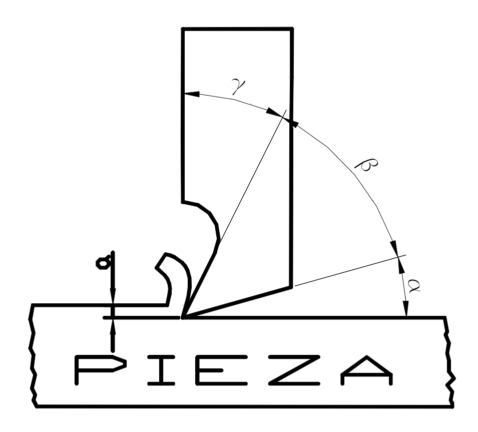


Figura 3.2.- Ángulos característicos de una herramienta

Los ángulos (α, β y γ) son los ángulos característicos de una herramienta y responden a la siguiente relación fundamental .

$$\alpha + \beta + \gamma = 90° \text{ para ángulos } \gamma \text{ positivos} \quad \ldots\ldots(3.1)$$

Los ángulos α y β son siempre positivos pero γ puede tener un valor negativo como se muestra en la figura 3.3 cumpliéndose la relación siguiente:

$$\gamma = 90° - (\alpha + \beta) \quad \ldots\ldots(3.2)$$

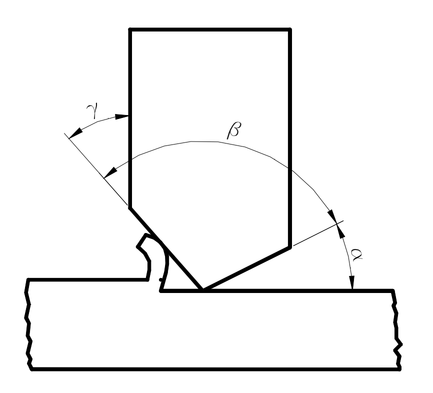


Figura 3.3.- Angulo se salida γ negativo

3.3.- LEYES DEL CORTE DE METALES.

1. ***La viruta se desprende mejor conforme se presenta mas tangencialmente a la cara de salida, esto es, cuando β es más pequeño.***
2. ***La arista cortante se deteriora mas rápidamente conforme β es más pequeño.***

Esas dos primeras leyes son contradictorias y solo pueden conciliarse mediante un compromiso establecido en base a las dos leyes siguientes.

3. ***Conforme aumenta la dureza del material por trabajar, el ángulo de salida γ puede ser más pequeño.***
4. ***Conforme el material de la herramienta es mas duro γ puede aumentarse.***

Observaciones:

- ***Igual que en el corte de materiales duros, el bronce y el latón requieren un ángulo de salida muy pequeño y aun nulo.***

- ***Cuando el material de la herramienta presenta cierta fragilidad y el material por trabajar posee una alta dureza la experiencia ha demostrado que γ puede tener valor negativo.***

3.4.- VELOCIDAD DE CORTE (V_C).

Para las distintas máquinas herramientas utilizaremos diferentes tiempos principales esto debido a la forma de trabajo y complejidad de cada máquina, y para esto se definirá un término que será de suma importancia en todos los formularios siguientes, la velocidad de corte.

A cada revolución de la pieza que se trabaja, pasa su perímetro una vez por la cuchilla del útil correspondiente. La velocidad circunferencial de la pieza es, al mismo tiempo, la velocidad con que es arrancada una viruta y se llama Velocidad de Corte.

La velocidad de corte constituye una medida de la rapidez del movimiento de corte. La velocidad de corte se designa como V_C, el diámetro de la pieza d en milímetros, y el número de revoluciones de la pieza por minuto con n, así pues, la velocidad de corte se define como:

$$V_C = \pi . d . n \quad \text{............................(3.3)}$$

Donde:
V_C = Velocidad de corte [m/min o pies/min]
d – diámetro de la pieza a maquinar o de la herramienta.
n – rpm.

Despejando n de la ec. 3.3 se obtiene:

$$n = \frac{V_C}{\pi . d} \quad \text{............................(3.4)}$$

No se debe trabajar con una velocidad de corte cualquiera. Si la velocidad de corte es demasiado pequeña, el tiempo invertido en el trabajo resulta demasiado largo, y si la velocidad es demasiado grande, la cuchilla pierde su dureza como consecuencia del fuerte calentamiento sufrido y se desgasta rápidamente, teniendo que ser afilada con frecuencia.

Es pues, nuestra decisión determinar la velocidad de corte adecuada para cada material. Para la determinación de la velocidad de corte influyen generalmente las siguientes circunstancias:

1.- Material de la pieza.- los materiales duros desarrollan en el arranque de viruta más calor que los blandos y es por esta razón que se deben trabajar con velocidades de corte más reducidas que estos últimos.

2.- Material de la herramienta.- Las herramientas de carburo soportan más calor que los aceros rápidos permitiendo por esta razón el empleo de velocidades de corte mayores.

3.- Sección de la viruta.- Cuando se tornea con virutas pequeñas (afinado, alisado) la velocidad de corte puede ser mayor que cuando las virutas son gruesas (desbastado) porque las grandes secciones de viruta desarrollan más calor que las pequeñas.

4.- Refrigeración.- Con una buena refrigeración se puede emplear una velocidad mayor que si maquinamos en seco.

5.- Tipo de construcción de máquina.- Una máquina robusta puede soportar velocidades de corte más grandes que otras de construcción más ligera. La máquina debe estar dispuesta de tal modo que pueda aplicarse en ella la velocidad de corte elegida.

Cuando se elige la velocidad de corte, hay que tener en cuenta a veces, la sujeción de la herramienta, por ejemplo, si está volando, desequilibrada, etc. Se tiene que tener en cuanta también la clase de torneado. Si, por ejemplo, al terminar de tornear un agujero tarda 300 minutos y el trabajo ha de ser realizado sin cambio de la herramienta, habrá que mantener la velocidad convenientemente reducida con objeto de que la cuchilla no se embote durante el trabajo.

Las velocidades de corte más apropiadas para cada trabajo han sido determinadas por medio de ensayos. La duración de un útil de corte entre dos operaciones de afilado se llama Tiempo de duración. Los valores prácticos se han elegido de tal modo que los tiempos de duración para acero de herramientas y para acero rápido son de 60 minutos y para las herramientas de carburo, de 20 minutos. Si se elige una velocidad de corte más alta que lo que indican las tablas, el tiempo de duración será menor y en caso contrario sucederá al revés.

3.5.- EL AVANCE (s).

Es el recorrido que realiza la herramienta en cada revolución de la pieza al cilindrar o refrentar. En el caso de la fresadora el avance se refiere al movimiento de la mesa con todo y pieza por unidad de tiempo. Ejemplos:

$$S = \frac{1mm}{rev} \quad S = 80\frac{m}{\min}$$

3.6. PROFUNDIDAD DE CORTE (a).

Es la distancia que penetra la herramienta por debajo de la superficie de la pieza a maquinar en el caso del torno, la reducción de diámetro en cada pasada es 2 veces la profundidad de corte.

3.7.- FLUIDOS DE CORTE.

Se utilizan en distintas operaciones de corte o maquinado y sus objetivos son los siguientes:

1. ***Evitar el calentamiento de la herramienta y pieza.***
2. ***Reducir la fricción entre la herramienta de corte y la pieza.***
3. ***Desalojar las virutas.***

Los fluidos más utilizados son:

1. ***Agua y aceite soluble (taladrina).***
2. ***Petróleo.***
3. ***Manteca.***
4. ***Aceite de colza.***

3.8.- TIEMPOS INVERTIDOS EN EL MECANIZADO DE PIEZAS.

Llamaremos tiempo disponible al tiempo que se da a un obrero para realizar un trabajo en nuestro caso, será la fabricación de una pieza en una máquina-herramienta, este tiempo invertido se compone a su vez de tiempos parciales que son los siguientes.

Tiempo de preparación.- Tiempo invertido en preparar el utillaje y los medios auxiliares, así como en volver a su lugar primitivo, por ejemplo, lectura del plano, preparar la máquina, traer y volver a llevar las herramientas.

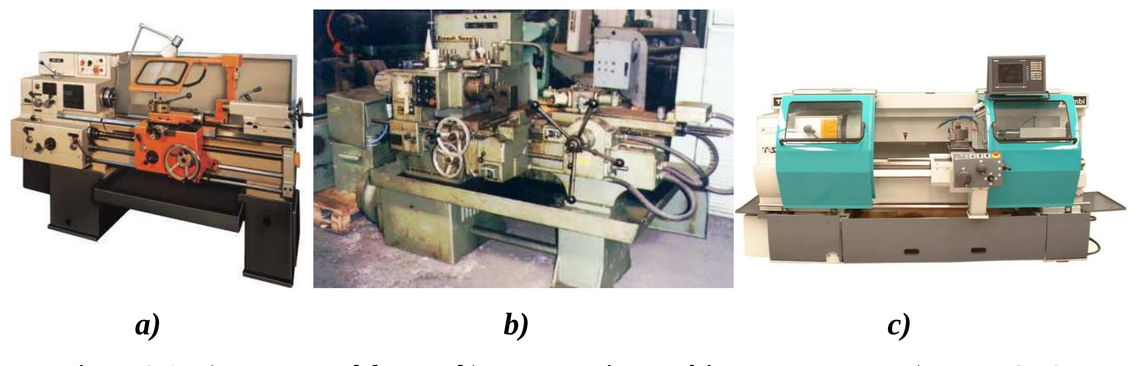
Tiempos accesorios.- ***Tiempos que entran en juego regularmente pero que no participa directamente en el adelanto del trabajo a realizar, por ejemplo, el tiempo empleado en sujetar y soltar, en aplicar el filo,, en medir y en aplicar el útil.***
Tiempo a prorratear.- Tiempos que intervienen de modo irregular e involuntario, por ejemplo, el empleado en engrasar la máquina, el afilado no previsto de la herramienta tiempo perdido por perturbaciones del acondicionamiento.

Tiempos principales.- Tiempo durante el cual se imprime un avance encaminado a terminar el trabajo encargado, por ejemplo tiempo empleado en mecanizar la pieza, tiempo de funcionamiento de la máquina, tiempo de corte.

3.8.1.- Torno.

El torno es una de las máquinas herramientas más antiguas. El torno para metales lo inventó Henry Maudsley en 1797 y es quizá la máquina herramienta más adaptable que se conoce.
Los tornos pueden clasificarse de acuerdo con su mecanismo de propulsión (directa o indirecta); mecanismo de avance (manual, motorizado o automático); capacidad de producción (no producción, semiproducción y producción) y con respecto a su capacidad de trabajo los tornos se pueden clasificar como:

- ***Torno paralelo o universal, figura 3.4 a)***
- ***Torno revólver (de torreta)***
- ***Torno semiautomático, figura 3.4 b)***
- ***Torno CNC, figura 3.4 c)***



a) b) c)

Figura 3.4.- a) Torno paralelo b) Torno semiautomático c) Torno CNC

La herramienta más utilizada en esta máquina-herramienta es el buril que puede tener distintas geometrías como se muestra en la figura 3.5 .

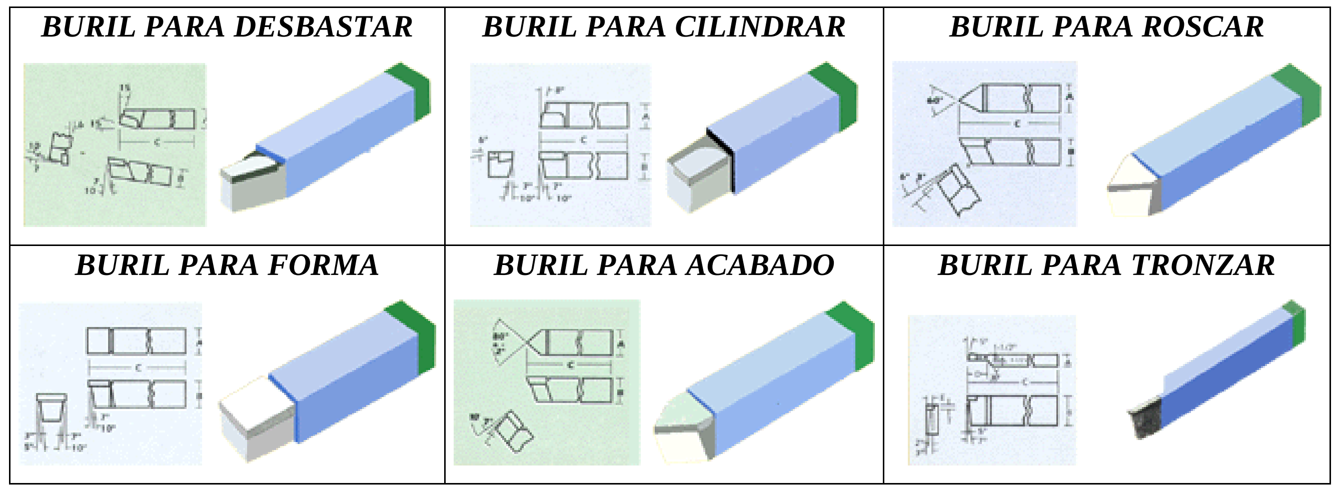


Figura 3.5.- Distintas geometrías de buriles

Así pues, para el torno, el tiempo principal se obtiene mediante el calculo:

$$Tp = \frac{L}{S * n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.5)$$

Donde:

l = longitud torneada (mm)

L = longitud de la pieza + recorrido anterior + recorrido ulterior = $l + l_a + l_u$

s = avance en (mm / rev).

n = revoluciones por minuto.

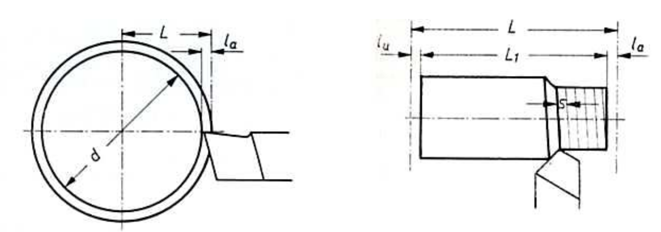


Figura 3. 6 .- Longitud a tornear

Si se requiere determinar cuantas pasadas se requieren para maquinar una pieza se usará la ecuación siguiente:

No de pasadas = D – d / 2* a ....(3.6)

Donde:
D = diámetro de la pieza original (mm).

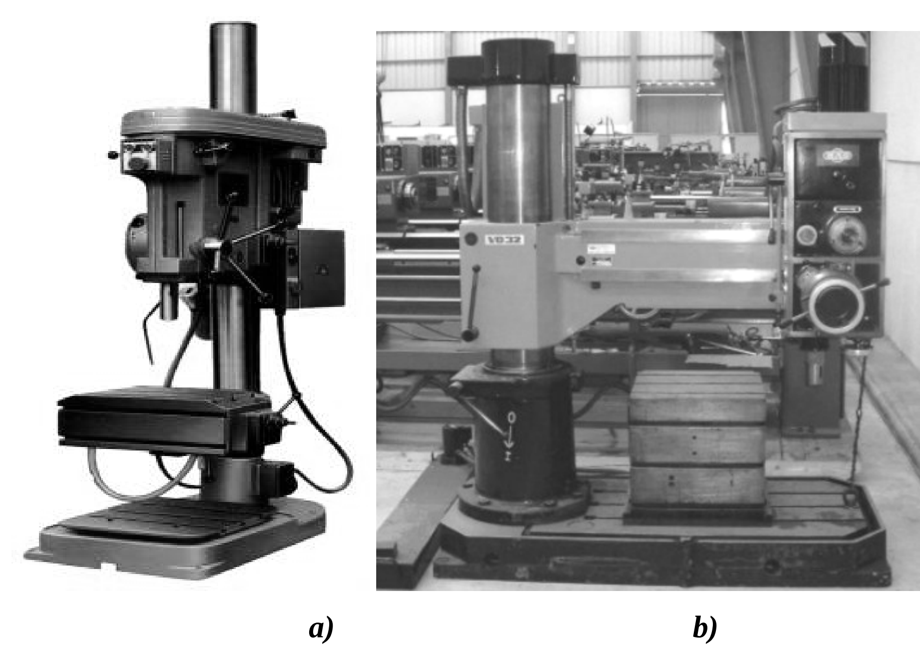
d = diámetro deseado de la pieza (mm)

a = profundidad de corte (mm)

3.8.2 Taladrado.

Los taladros se utilizan para realizar una de las operaciones más comunes, o sea, realizar agujeros en cualquier material o pieza de trabajo. Están disponibles en muchos tipos, siendo los más comunes los siguientes:

- ***Taladros de mano***
- ***Taladros verticales, figura 3.7a)***
- ***Taladros radiales, figura 3.7b)***
- ***Taladros automáticos***



a) *b)*

Figura 3.7 .- a) Taladro de columna b) taladro radial

Aunque por medio del taladro se pueden realizar distintas operaciones, la herramienta más utilizada es la broca, mostrándose algunos tipos de ellas en la figura 3.8 .



Figura 3.8 .- Distintos tipos de brocas

El número de revoluciones de la broca está relacionado con la velocidad de corte y con el diámetro de la broca. Se entiende por velocidad de corte en la operación de taladrado, el recorrido del punto más exterior del filo de la broca en (m / min.)

Cabe mencionar que frecuentemente traen las taladradoras unos cuadros en los cuales puede leerse para cada velocidad de corte y para cada diámetro de broca el número de revoluciones que corresponde.

El avance se expresa en mm por cada revolución de la broca, diciendo por ejemplo, 0.2 mm / rev de esta magnitud dependen el espesor de la viruta, la fuerza necesaria de avance y la calidad de superficie de las paredes del agujero realizado.. el avance admisible se determina teniendo en cuenta el material a taladrar y el diámetro de la broca que se utiliza.

Cuando se taladran agujeros pequeños, el avance se regula, generalmente, a mano mediante accionamiento de una palanca de mano. En este caso hay que trabajar con tacto ya que las brocas pequeñas se quiebran con facilidad.

3.8.2.1.-Cálculo del tiempo principal al taladrar.

El tiempo principal T_p ***es el tiempo de funcionamiento de la máquina, es decir, el tiempo durante el cual el filo de la broca arranca virutas, esto es:***

$$T_p = \frac{L}{s.n} \quad \text{……………..(3.7)}$$

Donde:

l = profundidad del agujero, figura 3.9

L = trayecto de trabajo de la broca = profundidad de agujero + punta de la broca

L = l + 0.3 d

d = diámetro de la broca

n = número de revoluciones por minuto

s = avance [mm/rev]

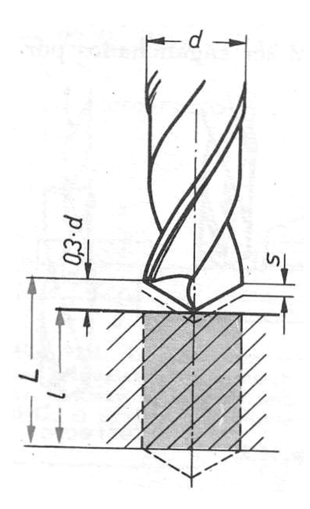


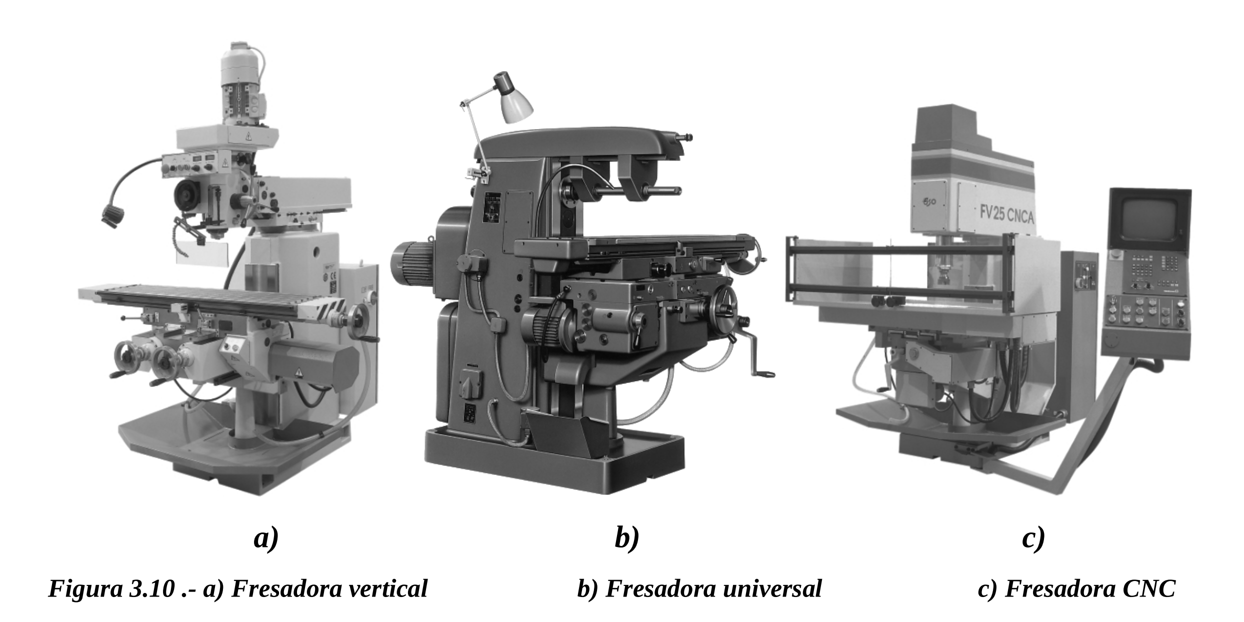
Figura 3.9 .- Trayecto de trabajo durante el taladrado

3.8.3.- Fresadora

Las fresadoras como los tornos, son las máquinas herramientas más adaptables para la manufactura. Está destinada a producir superficies planas y angulares y también se utiliza para hacer formas irregulares, trabajar superficies y cortar ranuras y muescas; también pueden utilizarse para taladrar, perforar, escariar (rimar) y cortar engranes.

Se construyen muchos tipos de fresadoras para un gran número de necesidades y aplicaciones siendo las más comunes las siguientes:

- ***Fresadora vertical, figura 3.10 a)***
- ***Fresadora horizontal***
- ***Fresadora universal, figura 3.10 b)***
- ***Fresadora CNC, figura 3.10 c)***



a) b) c)

Figura 3.10 .- a) Fresadora vertical b) Fresadora universal c) Fresadora CNC

En la figura 3.11 se muestran los cortadores (fresas) más utilizados



Figura 3.11.- Algunos tipos de cortadores

En el fresado se entiende por velocidad de corte el recorrido de un filo de la fresa en (m/min). El número de revoluciones depende de la velocidad de corte admitida y del diámetro de la fresa.

Si la velocidad de corte es demasiado grande, los dientes de la fresa se embotan prematuramente. Si la velocidad de corte, por el contrario, es demasiado pequeña, el rendimiento del fresado será pequeño.

El número de revoluciones de la fresa por minuto será:

$$n = \frac{V_c .1000}{\pi .d} \quad \text{.................................}(3.8)$$

Donde:

V_c = velocidad de corte (m / min)

d = diámetro de la fresa en (mm)

n = número de revoluciones de la fresa por minuto.

3.8.3.1.-Ajuste del avance.

El avance se da en el fresado por medio de la velocidad de avance en (mm / min). Se entiende por este avance el recorrido en mm que realiza la mesa de la máquina, y con ella la pieza, en un minuto.

La velocidad de avance (s´) viene dada por el tipo de fresa, el material de la pieza, la profundidad de corte y la calidad superficial que se desee, figura 3.12

La velocidad de avance en (mm / min) se puede calcular mediante la ecuación siguiente:

$$s' = ND \cdot (vpd) \cdot n \quad \text{……………………..}(3.9)$$

Donde:

ND= Número de filos o dientes del cortador

vpd= Avance por diente [mm/diente]

n= rpm del cortador

Así pues, el tiempo principal durante el fresado se puede calcular así:

$$T_p = \frac{L}{s'} \quad \text{……………………..}(3.10)$$

Donde:

L = longitud de la pieza + recorrido anterior + recorrido ulterior

$L = l + l_a + l_u$

L = l + d (cortadores cilíndricos)

L = l + 2d (cortadores verticales)

S´ = velocidad de avance

d = diámetro del cortador

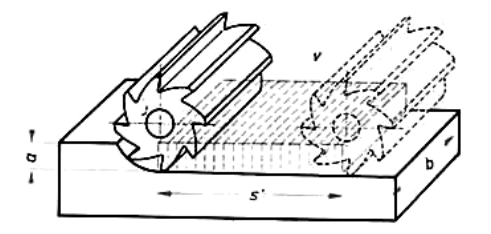


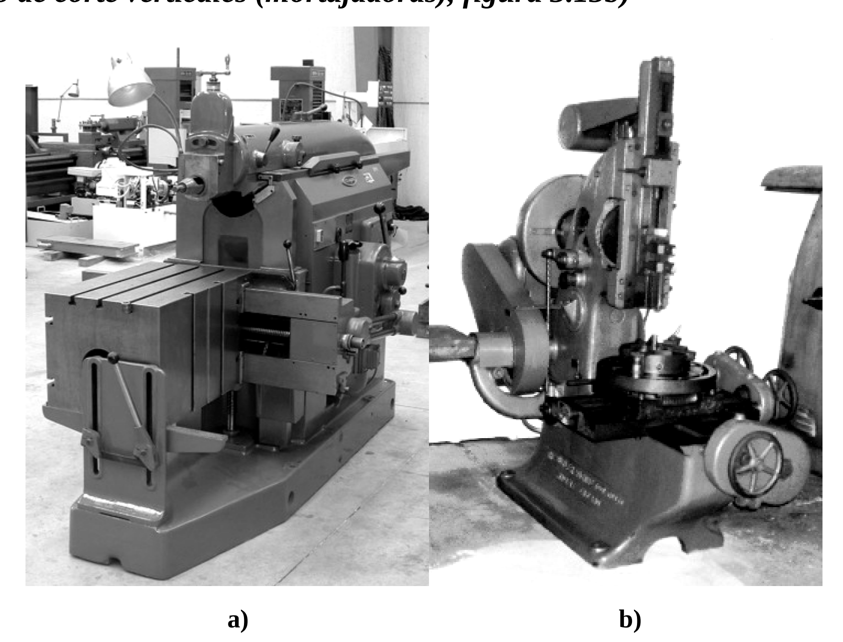
Figura 3.12 – Parámetros para fresado

3.8.4.-Cepillado.

Los cepillos de codo son máquinas-herramientas de uso principal en la producción de superficies planas y angulares.

Los principales tipos de cepillo de codo son:

- ***Cepillos horizontales de corte en el avance, figura 3.13a)***
- ***Cepillos horizontales de corte en el retroceso***
- ***Cepillo de corte verticales (mortajadoras), figura 3.13b)***



a) b)

Figura 3.13.- a) Cepillo de codo b) Mortajadora

Se designa por velocidad de corte (V_C) el recorrido en (m / min) que realiza la herramienta durante la carrera de trabajo. La velocidad durante la carrera en vacío se llama velocidad de retroceso (V_R).

Ya que en el trabajo de cepillado con una máquina de accionamiento por biela oscilante de corredera, la velocidad de corte no es uniforme. Al principio de la carrera, la velocidad de corte es nula. Crece después hasta un valor máximo V_C a la mitad de la carrera y disminuye nuevamente hasta el valor cero al final de la misma. Lo mismo ocurre para la velocidad de retroceso como se aprecia en la figura 3.14. Así pues, se estima una relación aproximada para las velocidades de :

$$V_R \approx 2V_C \qquad \text{.......................(3.11)}$$

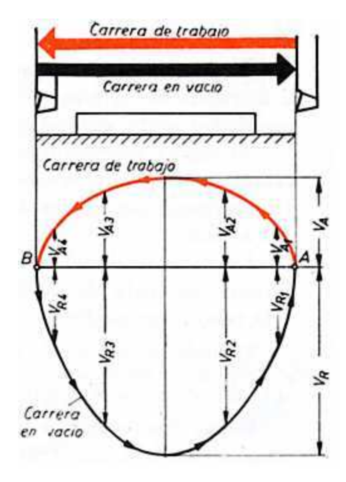


Figura 3.14 .- Carrera de trabajo y carrera de retroceso en un cepillo

En la practica de taller se cuenta, por lo general, con una velocidad de corte media, resultante de V_C y V_R

$$V_m = \frac{2V_C \cdot V_R}{V_C + V_R} \qquad \text{............................(3.12)}$$

Cabe notar que existe una influencia de la longitud de carrera sobre la velocidad de corte, ya que, para un número igual de revoluciones del disco manivela, permanece también igual el número de carreras (1 revolución = 1 doble carrera). Si se varía la longitud de la carrera, variará también la velocidad, ya que el útil de cepillar hará en el mismo tiempo un recorrido de longitud distinta.

Así, el tiempo empleado en cada doble carrera se puede calcular así:

$$T= T_C + T_R = 2.L / V_m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(3.13)$$

Donde:

L = longitud de la carrera , figura 3.15

$L = l + l_a + l_u = l + 20$ mm + 10 mm

V_m = velocidad media (m / min.)

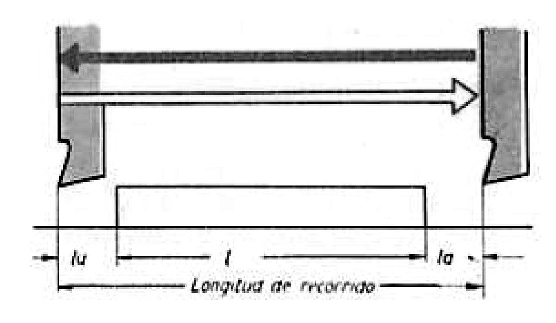


Figura 3.15.- Longitud de la carrera en un cepillo

Para cepillar una pieza será necesario un determinado número de dobles carreras dependiente de la magnitud del avance y de la anchura de cepillado. La anchura de cepillado se deduce de la pieza más los recorridos laterales anteriores y ulteriores, que son de 5 mm cada uno, por lo tanto:

Anchura de cepillado B = anchura pieza + recorridos laterales anterior y ulterior

$$B = b + 2 * 5mm$$

Si se divide la anchura de cepillado por el avance se obtiene el número necesario de dobles carreras:

$$Z = \frac{B}{s} \quad \text{..............}(3.14)$$

Donde:

Z= Número necesario de dobles carreras

B= Anchura total por cepillar

S= Avance lateral de la herramienta

Así, el tiempo principal se calcula así:

$$T_p = Z * T \quad \text{......................}(3.15)$$

Donde:

Z= Número necesario de dobles carreras

T= tiempo empleado en cada doble carrera

3.8.5.-Brochadora

El brochado es un proceso en el cual una herramienta larga, figura 3.16, de filos múltiples se hace penetrar en un agujero o pasar sobre la superficie de una pieza de trabajo, figura 3.17.

La brocha tiene una serie de dientes consecutivos y la altura de cada hilera aumenta en forma progresiva. La altura variable de los dientes de la brocha permite remover el material con la profundidad deseada de corte.

El brochado se utiliza para producir superficies internas y externas planas o irregulares.

El contorno de las aristas cortantes de las brochas determinan la forma de la superficie, la cual es imagen de espejo del perfil de la brocha. El brochado es continuo, con movimiento de corte rectilíneos aplicados en la brocha o en la pieza de trabajo.

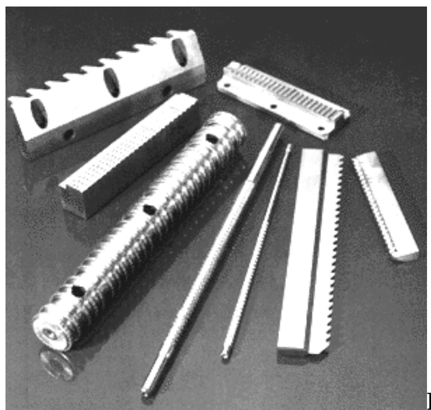


Figura 316. .- Diferentes tipos de brochas



Figura 3.17 .- Brochadora sencilla

El tiempo principal para el brochado depende de la longitud de la aguja (longitud del dentado) y de la velocidad de corte y se calcula del siguiente modo:

$$T_p = \frac{L}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3.16)$$

Donde:

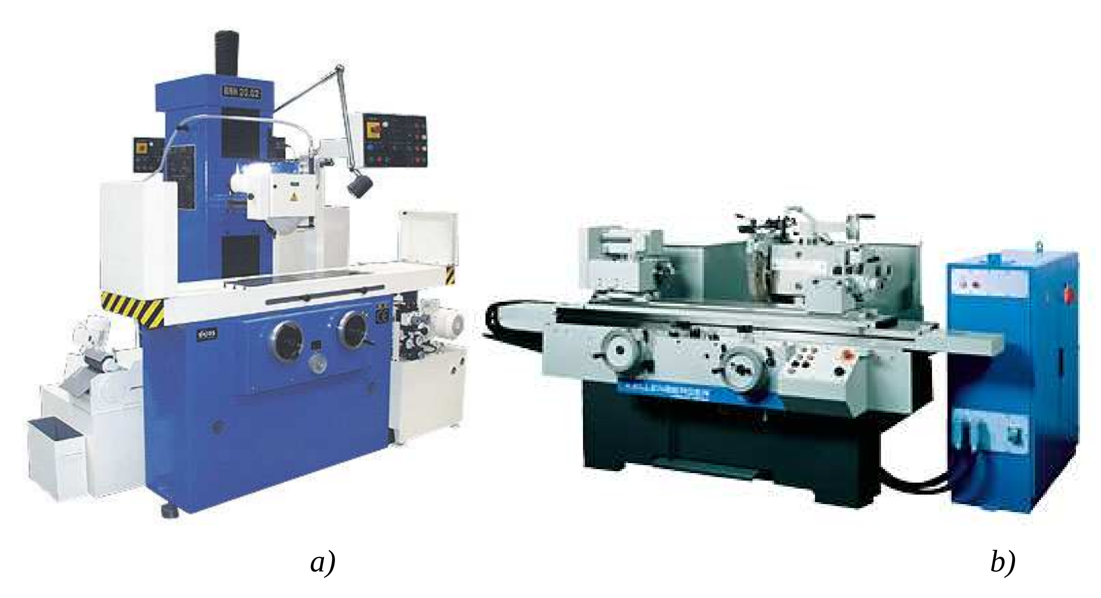
L= Longitud de la brocha

V = velocidad de corte

3.8.6.- Rectificado

En las máquinas rectificadoras se utilizan ruedas y cintas de diversos tipos constituidas por abrasivos de distintos tipos, que efectúan el corte. El rectificado permite obtener acabados superficiales de alta calidad con tolerancias de hasta 0.00025 mm. Pueden rectificarse superficies internas y externas con las diversas máquinas disponibles, siendo los tipos más importantes los siguientes:

- ***Rectificadoras de superficie, figura 3.18a) que se utilizan sobre todo para obtener una superficie plana en la pieza de trabajo-***
- ***Rectificadoras cilíndricas, figura 3.18b) que se utilizan para rectificar superficies cilíndricas internas y externas.***



a) *b)*

Figura 3.18.- a) Rectificadora de superficie b) Rectificadora cilíndrica

Los discos abrasivos son cuerpos compactos formados por partículas abrasivas y aglutinantes que mediante un rápido movimiento de giro, fuerzan al abrasivo a cortar viruta de la pieza que se trabaja, figura 3.19.

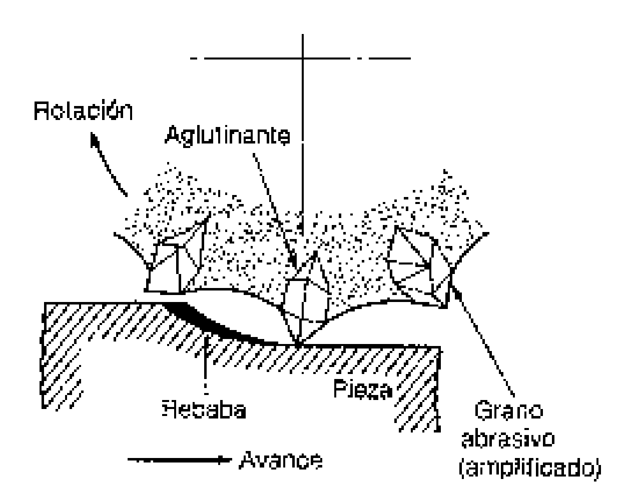


Figura 3.19.- Acción de corte con rueda abrasiva

Velocidad periférica de las ruedas de esmeril.- a la velocidad periférica de una rueda de esmeril se le designa también como velocidad de corte y se da en metros por segundo. Al aumentar la velocidad periférica crece también el peligro de que la rueda salte en pedazos como consecuencia de la fuerza centrífuga pudiendo ocasionar desgracias los trozos que salen disparados. Las normas de seguridad fijan para los distintos materiales aglutinantes y para las distintas clases de trabajo, determinadas velocidades máximas. Para cuerpos abrasivos con materiales aglutinantes cerámicos y vegetal. La velocidad máxima para esmerilado a mano es de 30 m /s. Hay que recalcar que toda rueda debe ser sometida antes del primer uso a una prueba de funcionamiento de 5 minutos.

Calculo de la velocidad periférica:

El número de revoluciones de la rueda se puede deducir a partir de la velocidad de corte como se muestra en la ecuación siguiente:

$$n = \frac{V_s * 1000 * 60}{\pi * D} \quad \text{..............(3.17)}$$

Donde:

V_s = velocidad periférica de la rueda de esmeril en (m / s)

D = diámetro de la rueda de esmeril en (mm)

n = número de revoluciones por minuto de la rueda.

Cálculo del tiempo principal en el rectificado cilíndrico:

El tiempo principal se deduce multiplicando la longitud a trabajar por el número de pasadas o cortes necesarios y dividido por el avance realizado en cada minuto, como se aprecia en las ecs. 3.18 y 3.19

Tiempo principal cuando el avance en profundidad se realiza en cada carrera:

$$T_p = \frac{L \cdot i}{S \cdot n_w} (\min) \quad \text{..................(3.18)}$$

Tiempo principal cuando el avance en profundidad se realiza a cada doble carrera:

$$T_p = \frac{2 * L * i}{S * n} (\min) \quad \text{................(3.19)}$$

Donde:

L = longitud de la pieza a esmerilar en (mm)

S = avance en mm por revolución de la pieza, figura 3.20

n_w = número de revoluciones de la pieza por minuto.

i = número de cortes o pasadas.

El número de revoluciones de la pieza, depende de la velocidad de corte:

$$n_w = \frac{V_w * 1000}{\pi d} \qquad ....(3.20)$$

donde:

d = diámetro de la pieza

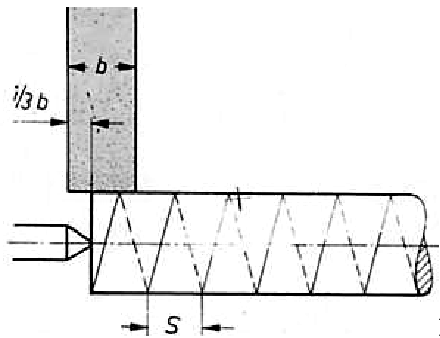


Figura 3.20.- Parámetros para el rectificado cilíndrico

Y el número de número de cortes o pasadas:

$$i = \frac{d_i - d_f}{a} \qquad ....(3.21)$$

Donde:

d_i = Diámetro inicial

d_f = diámetro final

a = avance en profundidad (desbaste = 0.01 a 0.03 mm; afine = 0.0025 a 0.005 mm)

CAPITULO 4
DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN

4.1. –DEFINICIÓN

Los dispositivos de sujeción son elementos auxiliares cuya principal función es la de permitir la realización de determinadas operaciones de maquinado sobre una pieza, por lo cual, ésta se sujeta al dispositivo mediante un sistema de cierre o apriete, de modo tal, que ésta permanece obligadamente en la posición requerida durante todo el desarrollo del maquinado, éste dispositivo se debe fijar a la mesa de la máquina herramienta; se debe hacer el diseño o la selección adecuada de un dispositivo de sujeción el cual deberá satisfacer las siguientes condiciones:

- ***Reducción de tiempos de fabricación (menos costos).***
- ***Mayor precisión en los productos (mejor calidad).***
- ***Uniformidad en las piezas producidas.***
- ***Empleo de personal no calificado.***

El diseño de todo dispositivo de sujeción debe resolver dos problemas que son:

- ***El posicionamiento de la pieza.***
- ***La inmovilización de la pieza.***

Las funciones que debe cumplir un dispositivo de sujeción y que están relacionadas con las diferentes acciones externas (su entorno) que actúan sobre el mismo son:

a) Relación con la máquina herramienta: conocimiento de la ficha técnica de la máquina herramienta.
b) Relación con la herramienta: en algunos casos el dispositivo debe ser capaz de guiar la acción de la herramienta, en otros deberá hacerse un ajuste inicial entre el dispositivo y la herramienta que eviten la necesidad de trazar la pieza, por lo tanto, las funciones relacionadas con la herramienta son:
- Guía o ajuste inicial.
- Soportar las acciones mecánicas y térmicas que se originan durante el maquinado.
- Permitir el desalojo de la viruta.

c) Relación con la pieza: Cada pieza según su geometría y tamaño implica soluciones distintas, sin embargo, pueden mencionarse como funciones principales las siguientes:

- Posicionamiento

- Inmovilización

d) Relación con el operador: se encuentra definida por las acciones siguientes:

- ***Posicionar e inmovilizar la pieza***
- ***Realizar los ajustes necesarios entre dispositivos y herramientas***
- ***Maquinar la pieza***
- ***Limpiar y eliminar las virutas***
- ***Desmontar la pieza***

4.2 TEORÍA DE LA SUJECIÓN.

Durante el maquinado de series grandes o medianas de piezas, preferentemente, se requiere que los operadores puedan montar y desmontar las piezas lo más rápido posible, para que la producción no sufra un receso largo. Para solucionar este problema se requiere hacer un análisis profundo del problema; que generalmente se resuelve por medio de un buen estudio de fabricación, que nos indicará si es necesario diseñar y manufacturar herramentales especiales. El diseño y fabricación de estos herramentales (montajes de maquinado) pueden ser muy sencillos o muy complejos, dependiendo del problema a solucionar.

El plan de trabajo, obtenido del estudio de la fabricación, contempla los factores económicos así como la maquinaria e instalaciones disponibles.

Para fabricar una pieza, en una máquina-herramienta, es necesario:

- Conocer su posición en el medio de trabajo.

- Mantenerla en esa posición oponiéndose a los esfuerzos de corte, durante la operación de maquinado.

Por ejemplo: El montaje representado en la figura 4.1 esta destinado al torneado de la superficie cilíndrica S.

La forma de esta superficie está determinado por el movimiento relativo pieza-herramienta.

La posición de la superficie S depende de otras superficies de la pieza y que están en contacto con el montaje.

La posición de la superficie S es correcta sí su eje está comprendido en el interior de un cilindro de 0.06 mm. , del cuál el eje está definido por las superficies Ap y Bp de la pieza.

Hay que observar que las superficies Ap y Bp constituyen un sistema de referencia de coordenadas:

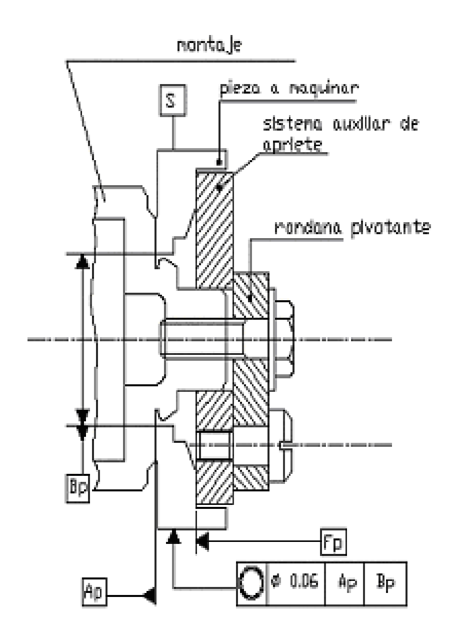


Figura 4.1.- Torneado de una forma cilíndrica S.

- Ap es la referencia primaria de orientación del eje (el eje es perpendicular al plano Ap).

-.Bp es la referencia secundaria y define la posición del eje (el eje pasa por el centro del centrador corto fijo).

Se puede decir por lo tanto que la sujeción de una pieza esta definida si se conocen:

- Las superficies que aseguran el posicionamiento;

- Las superficies que reciben los esfuerzos, que mantiene a la pieza, durante la operación de maquinado.

4.2.1.- Superficies en contacto.

En el caso de la figura 4.1 las superficies de la pieza en contacto con el montaje son Ap, Bp, y Fp.

- Ap y Bp aseguran el posicionamiento de la pieza.

- Fp recibe el esfuerzo, con objeto de mantener la pieza, durante la operación de maquinado.

4.3.- POSICIONAMIENTO.

El posicionamiento de una pieza es la primera operación a realizar; consiste en colocar la pieza en una posición tal que sea factible su maquinado, para ello nos servimos de apoyos, topes, etc. , esto es, eliminar todos los grados de libertad de dicha pieza en el espacio, dentro de un sistema de referencia fijo 0XYZ.

La pieza en contacto con las superficies Am y Bm del montaje (figura. 4.2), conserva un grado de libertad de rotación alrededor del eje OZ.

El posicionamiento entonces elimina 5 grados de libertad:

- Tres son eliminados por la porción del plano Am.

- Dos son eliminados por la porción de la esfera Bm.

El posicionamiento de una pieza está caracterizado por los grados de libertad que de ella elimina (figura 4.2).

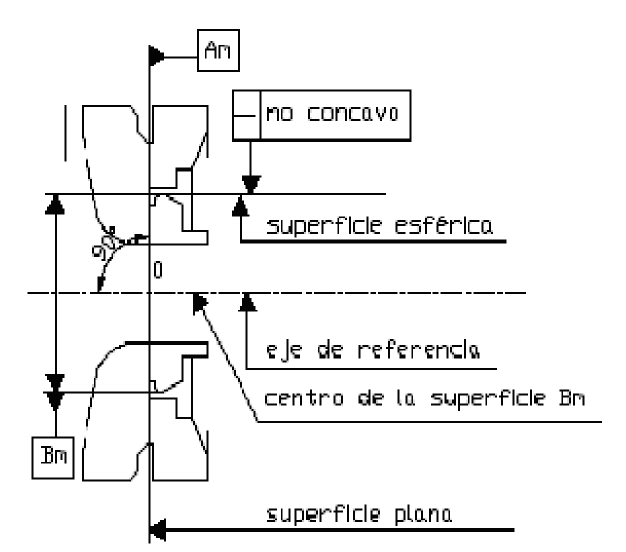


Figura 4.2.- Montaje de una superficie cilíndrica.

4.3.1.- Grado de libertad.

A un grado de libertad le corresponde la posibilidad de un movimiento relativo de rotación o de traslación entre dos sólidos M y P (figura 4.3).

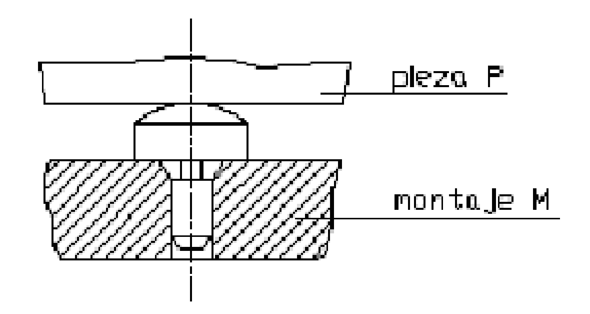


Figura 4.3.- El contacto puntual elimina un grado de libertad.

Todo movimiento instantáneo de un sólido libre en el espacio se puede expresar como la suma vectorial de una rotación R y de una traslación T, donde las componentes, en un sistema de referencia fijo 0XYZ son:

- En rotación Rx, Ry y Rz.

- En traslación Tx, Ty y Tz.

El conocimiento de estos seis parámetros es necesario para describir el movimiento del sólido: se dice que éste posee seis grados de libertad.

Los valores de estos parámetros están parcial o totalmente determinados. Es posible reducir el número de grados de libertad, el sólido tendrá (6 - Pn) grados de libertad. Si Pn=6, el sólido no tendrá ningún grado de libertad, se dirá entonces que está fijo y que su posición está perfectamente definida (figura 4.4).

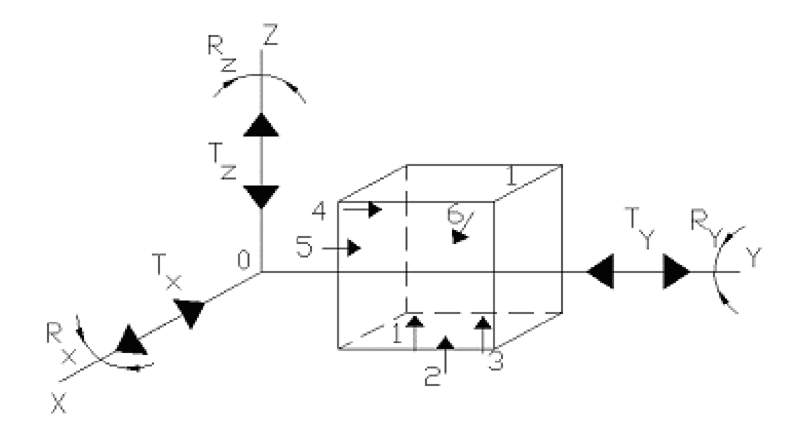


Figura 4.4.-Grados de libertad de un sólido.

Sea una pieza P libre y el sistema de coordenadas de referencia fijo 0XYZ.

Las condiciones necesarias y suficientes para localizar P, es decir, para suprimir los rotaciones Rx, Ry, Rz y las traslaciones Tx, Ty, Tz, llamados grados de libertad, son los siguientes:

- Tres puntos fijos 1,2,3, en el plano XY suprimiendo tres grados de libertad: Tz, Rx, Ry.

- Dos puntos fijos 4,5, en el plano X0Z suprimiendo dos grados de libertad: Ty, Rz.

- Un apoyo fijo 6, en el plano YOZ suprimiendo un grado de libertad: Tx.

Este posicionamiento, llamado "plano-línea-punto", se conoce también como "Principio de KELVIN de posicionamiento isostático".

La secuencia de maquinado indica los apoyos partiendo de este principio.

El analista respetará las indicaciones de la secuencia, pero deberá tener en cuenta los diversos consideraciones tecnológicas, como son:

- ***Estado de la superficie,***
- ***Forma y dimensiones de la pieza,***
- ***Los esfuerzos,***
- ***Deformaciones,***
- ***Esfuerzos sobre apoyos fijos,***

Teóricamente, un grado de libertad está eliminado por un contacto puntual, figura 4.3.

El peso de la pieza, las fuerzas de apriete que aseguran su inmovilización, y los esfuerzos originados durante el corte, hacen imposible que la pieza se pueda apoyar sobre puntos o superficies pequeñas.

Una solución aceptable consiste en prever superficies que den suficiente apoyo a la pieza para evitar así deformaciones locales a la presión de contacto (figura 4.5).

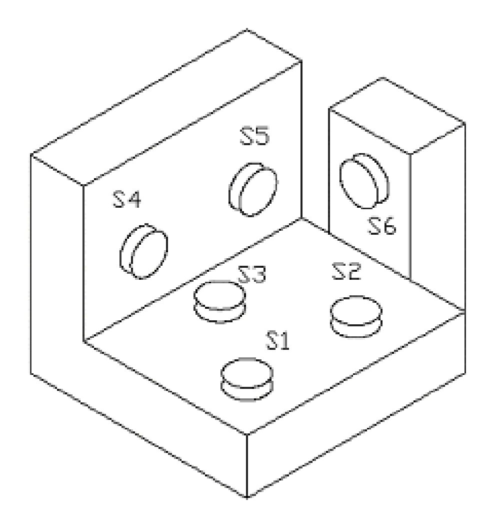


Figura 4.5.- Superficies con suficiente apoyo para evitar deformaciones con el apriete.

Pueden tomarse de base los siguientes valores de presión de contacto:

P = 8 a 10 daN/mm^2, cuando se quiere evitar toda deformación.

P = 20 a 25 daN/mm^2, cuando se aceptan deformaciones pequeñas.

4.4.- TEORÍA DEL ISOTATISMO.

Para asegurar una operación adecuada de un dispositivo de sujeción, la pieza debe ser situada en forma precisa para establecer una relación definida entre la herramienta de corte y algunos puntos o superficies de la pieza. Esta relación se establece por localizadores en el dispositivo de sujeción, por medio de los cuáles la pieza puede ser posicionada y limitada para prevenir su movimiento de la posición predeterminada. El dispositivo de localización deberá ser diseñado de tal forma que cada pieza sucesiva, cuando se coloque y sujete, ocupará la misma posición en el dispositivo.

Para localizar una pieza en forma precisa, debe ser confinada o restringida contra algún movimiento en cualquiera de sus seis grados de libertad, excepto aquellos específicos a la operación. Cuando se satisface esta condición, la pieza está posicionada geométricamente en el dispositivo de sujeción. Las fuerzas de apriete son dispuestas contra el plano, la línea y el punto; además sirven también para resistir las fuerzas generadas por la operación de maquinado del metal que se está cortando, en la pieza de trabajo. Cuando se eliminan los grados de libertad de un sólido se dice que éste es isostático.

Se mencionó anteriormente que un grado de libertad es eliminado por un contacto puntual.

El contacto puntual se caracteriza por la normal de contacto de los sólidos sin rozamiento (figura 4.6). Este contacto es definido mecánicamente por el principio de Newton:

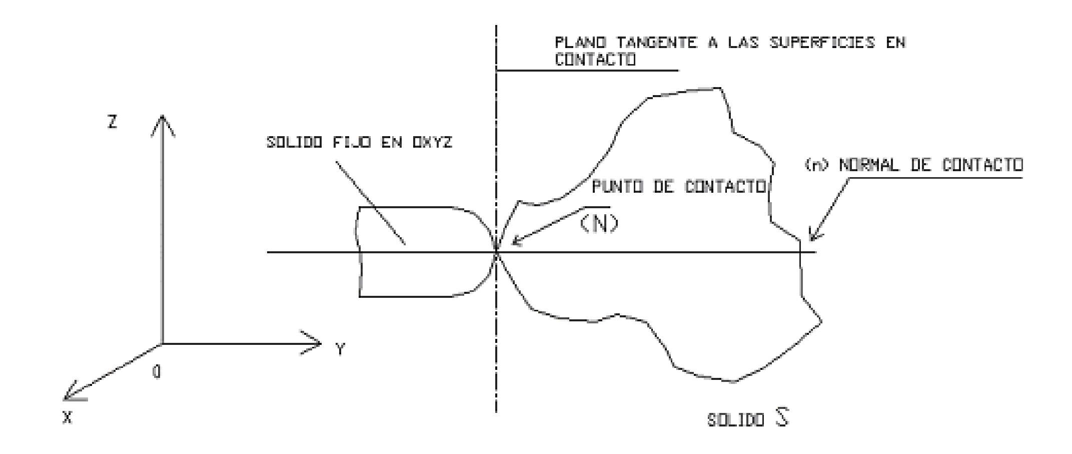


Figura 4.6.- Representación de la normal de contacto de los sólidos.

Las acciones recíprocas del elemento fijo sobre el sólido son iguales y de dirección opuesta sobre la normal de contacto (figura 4.7).

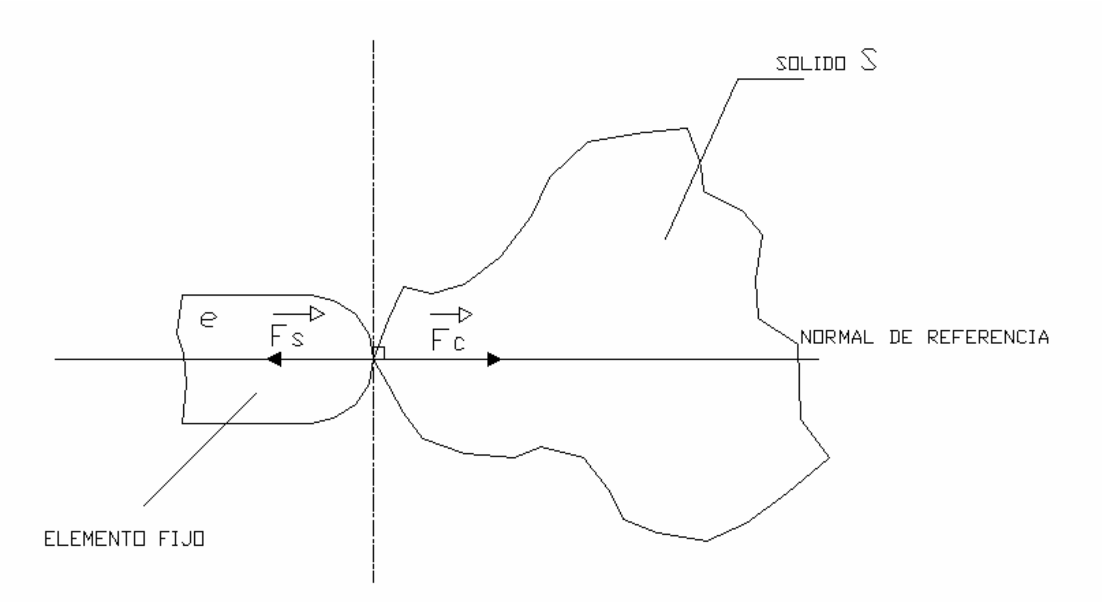


Figura 4.7.- Fuerzas iguales pero en dirección opuesta sobre la normal de contacto.

Además del punto de contacto, existe:

a) La línea de contacto.

b) El plano de contacto.

a) Línea de contacto

La línea de contacto (contacto lineal) se caracteriza por dos normales de referencia (por dos puntos se puede hacer pasar una línea recta como se ve en la figura 4.8).

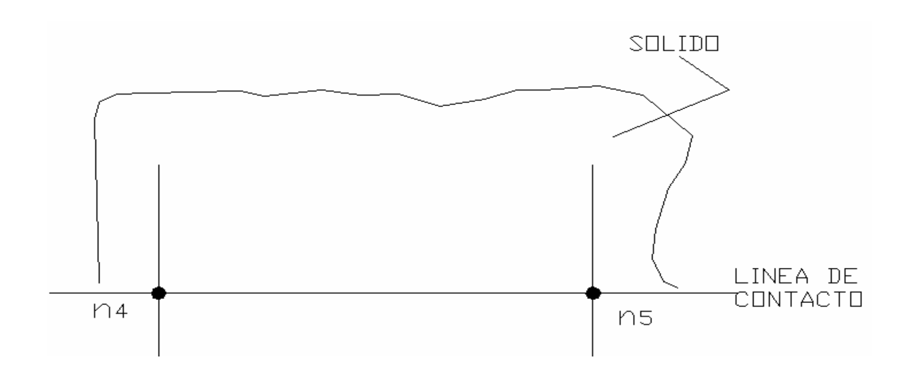


Figura 4.8.- Línea de contacto entre dos puntos.

b) El plano de contacto

Se caracteriza por lo siguiente:

- Un plano se materializa por tres normales de referencia.

- Tres contactos puntuales determinan un plano (figura 4.9).

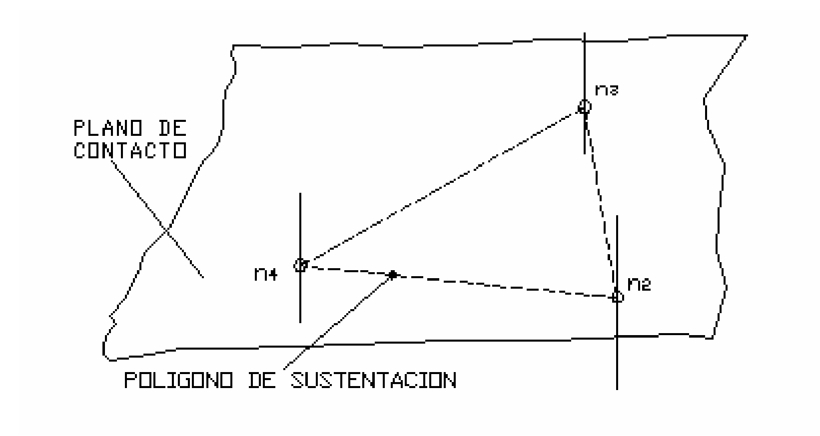


Figura 4.9.- Plano de contacto.

- Dos rectas secantes determinan un plano (figura 4.10).

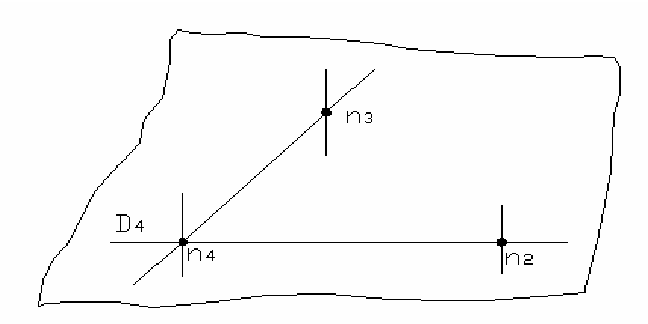


Figura 4.10.- Determinación de un plano por dos rectas secantes.

4.4.1.- Normal de localización

Se esquematiza cada contacto puntual teórico por un vector normal a la superficie considerada. El vector es llamado normal de localización.

La representación normalizada de una normal de localización está determinada en la figura 4.11a). Si es necesario, se puede efectuar una representación proyectada (figura 4.11b).

El símbolo será colocado de lado libre de la pieza en el lugar elegido (figura 4.12)

Cuando no hay lugar y si no existe ambigüedad, el símbolo puede ponerse en un lugar sobre una línea de referencia (figura 4.12b).



Figura 4.11.- a) Representación de una normal de localización, b) Representación proyectada.



Figura 4.12.- Colocación del símbolo sobre la pieza.

4.4.2.- Reglas de disposición de las normales.

Con el fin de verificar si cada una de las normales de localización contribuye a eliminar un grado de libertad, es importante conocer algunas reglas usuales:

1- La colocación de una normal de localización está determinada de tal manera que el grado de libertad que ella suprime no esté eliminado por alguna otra normal (figura 4.13).

2. - Nunca colocar más de tres normales paralelas y, en este caso, los puntos de contacto no deben pasar por otra línea recta (figura 4.14)

3. - Nunca poner más de tres normales no coplanares, concurrentes a un mismo punto (figura 4.15).

4. - Un posicionamiento sin grados de libertad impone que las seis normales sean relativas al menos a tres planos (figura 4.16).

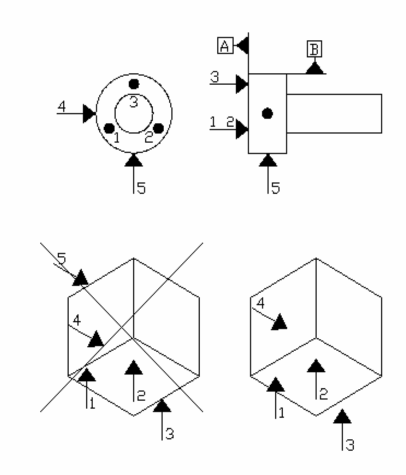


Figura 4.13.- Ubicación de las normales de la colocación.

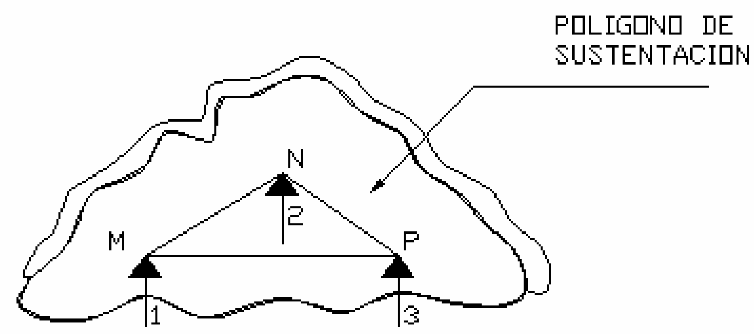


Figura 4.14.- Colocación de las tres normales paralelas

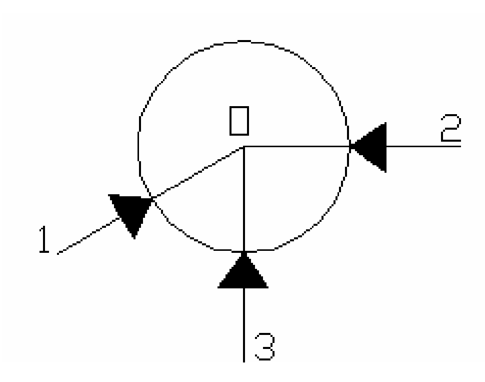


Figura 4.15.- Normales no cooplanares concurrentes a un mismo punto.

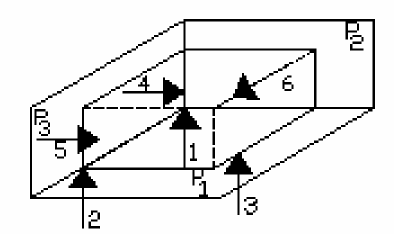


Figura 4.16.- Posicionamiento sin grados de libertad.

Observaciones:

1. Con objeto de aumentar la calidad del posicionamiento es necesario que:

- Las normales de localización se coloquen tan distantes como sea posible unas de otras.

- Cada normal debe ser puesta en la dirección del movimiento que elimina.

2. Las normales de localización definen las zonas preferentes de contacto de la pieza sobre sus apoyos: si es necesario sus posiciones deben ser acotadas.

3. El número y las posiciones de los normales de localización se deducen de las superficies del sistema de referencia.

4.4.3.- Determinación de las normales.

Las normales son determinadas si conocemos su número y sus posiciones.

El número y las posiciones de las normales se deducen de las superficies del sistema de referencia y de las cotas que le son ligadas, ellas deben respetar las reglas del isotatismo.

Ejemplo:

Sea la pieza de la figura 4.17 en la que se debe realizar un agujero con su caja.

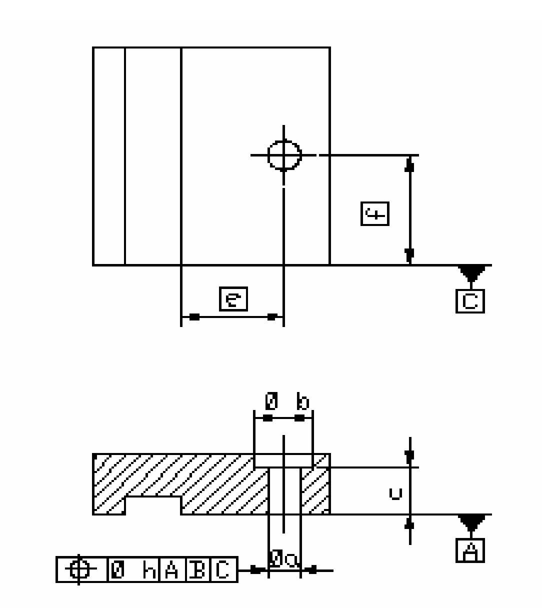


Figura 4.17.- Realización de un agujero con su caja.

Sobre el dibujo de definición se distingue:

-Las cotas de forma de los maquinados (a, b, c).

-Las cotas de posición (e, f y la tolerancia de localización h).

Las cotas de posición de los maquinados parten de las superficies de referencia A, B y C.

El orden de prioridad geométrico de las superficies A, B y C están especificadas por el orden determinado en los tres últimos casillas del cuadro de la tolerancia de localización. Decimos que las referencias son ordenadas.

Con objeto de asegurar las desviaciones de perpendicularidad entre las superficies B y C, la tolerancia de posición, si la indicación del sistema de referencia es ambigua.

SISTEMA DE REFERENCIA

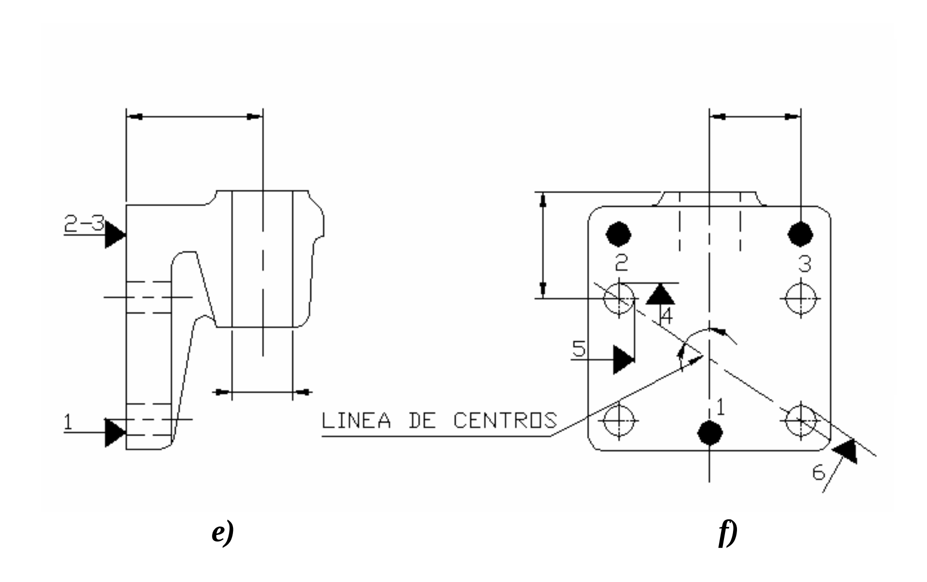
(Referencias ordenadas)

Referencia	*Orden geométrico*	*Número de normales*
A	***Referencia primaria***	***3***
B	***Referencia secundaria***	***2***
C	***Referencia terciaria***	***1***

En la figura 4.18 se muestran algunos ejemplos de referencias.

a) ***b)***

c) ***d)***



e) ***f)***

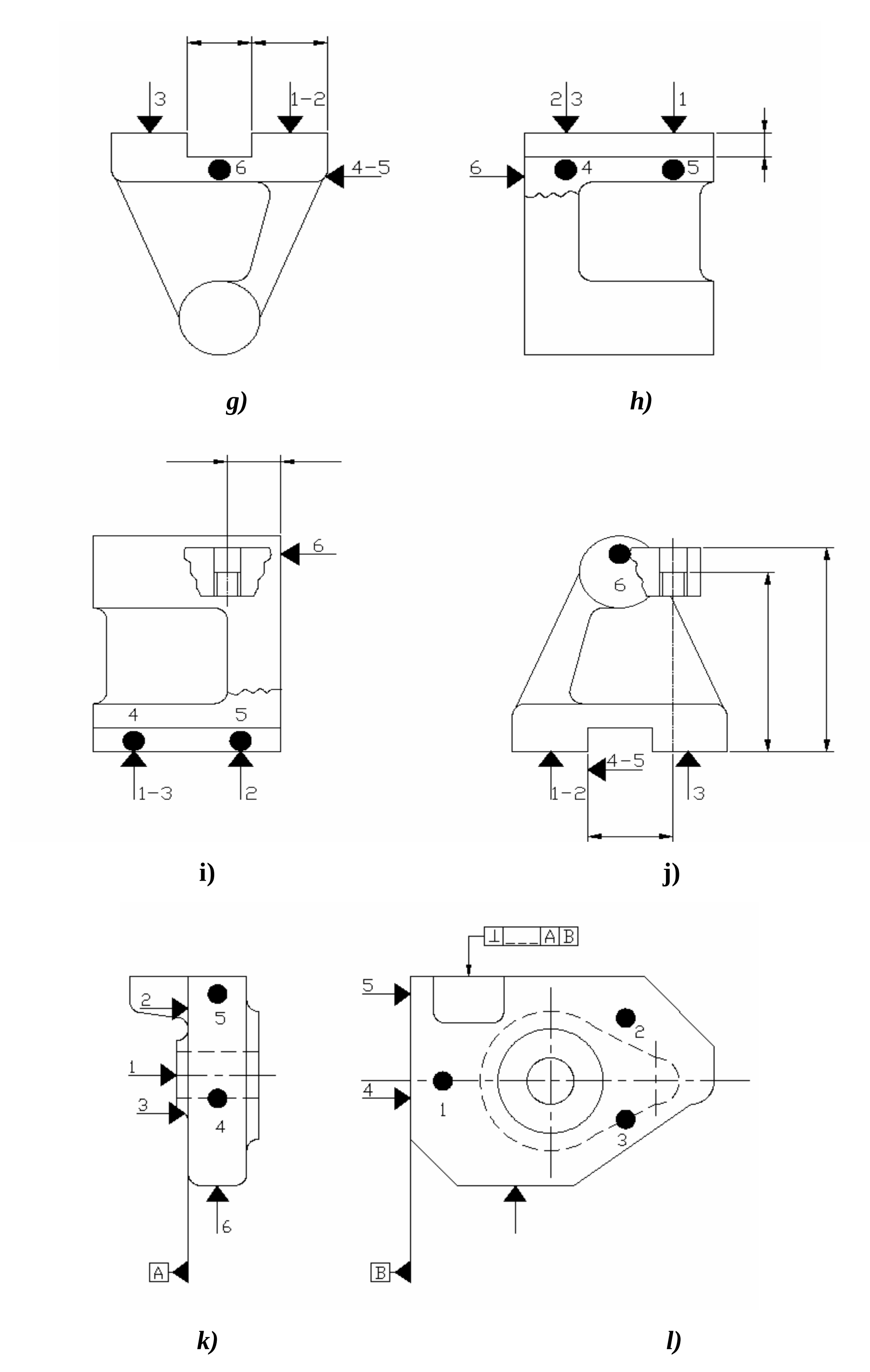


Figura 4.18.- Ejemplos de referencia.

4.4.4.- Principio de utilización.

Se señala en cada superficie tanto la normal de localización como aquella donde deben eliminarse los grados de libertad.

- Dibujar los símbolos en las vistas y en su posición en los lugares más explícitos.
- Enumerar, en cada vista, los símbolos por un número del 1 al 6.
- Es recomendado limitar su número en función de las cotas de fabricación a realizar en la fase.
- Acotar eventualmente su posición (figura 4.19).

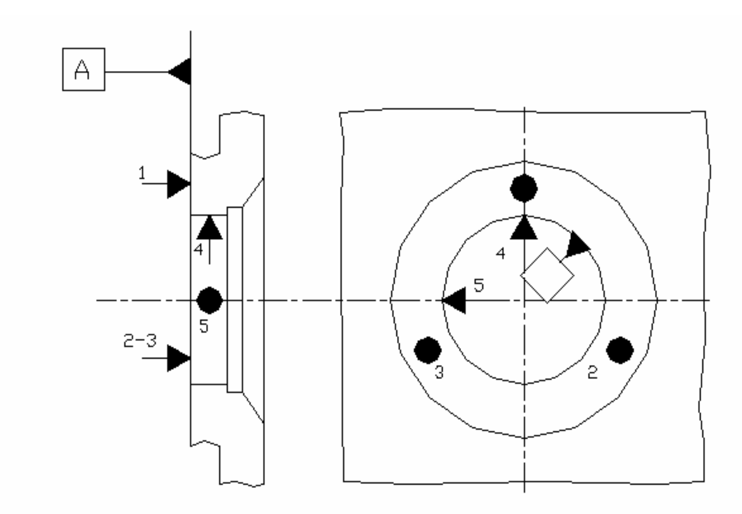


Figura 4.19.- Esquema que muestra el principio de utilización.

4.5.- PREPOSICIONAMIENTO.

Con el fin de facilitar el posicionamiento de una pieza, en algunos casos es necesario efectuar un preposicionamiento.

El preposicionamiento debe asegurar:

- ***Un posicionamiento, sin ambigüedad, de la pieza sobre el montaje.***
- ***Asegurar una sola dirección de entrada, de la pieza hacia sus apoyos.***

4.5.1.- APOYOS O TOPES

Son elementos usualmente fijos o pueden tener alguna posibilidad de ajuste. Normalmente se fabrican con acero cementado, templado y revenido a una dureza de 50 a 60 Rockwell C.

La superficie de apoyo con la pieza puede ser plana, abombada o estriada, figura 4.20, lo cual depende de el estado de la pieza, esto es, si la superficie esta en bruto o maquinada.

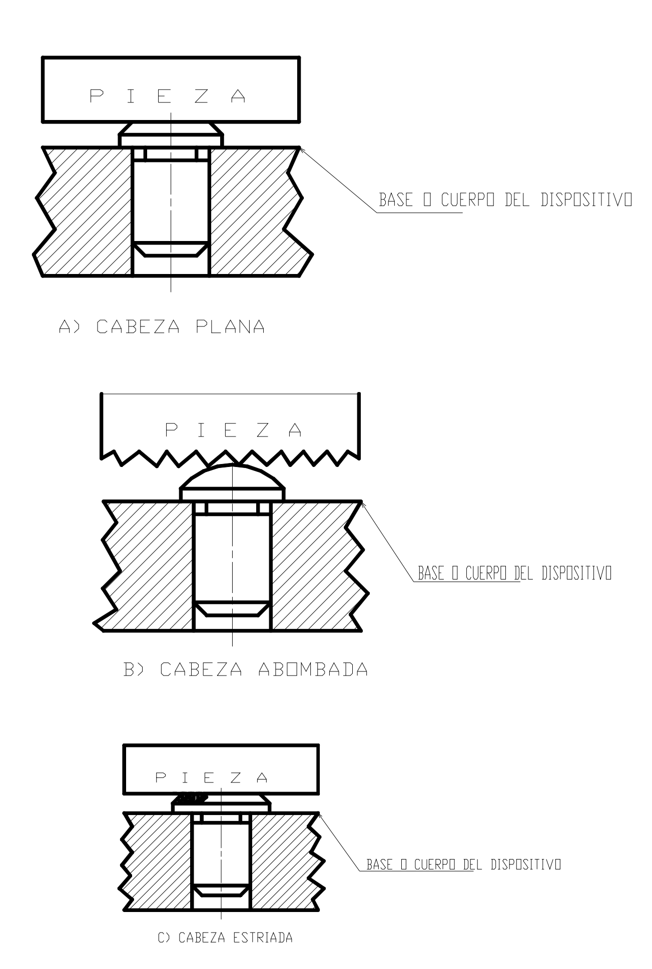


Figura 4.20.- Diferentes tipos de apoyos

4.6.- ELEMENTOS DE SUJECIÓN.

Los elementos de sujeción de un montaje deben mantener las piezas sujetas de modo firme y seguro. Tiene que poseer la fortaleza suficiente para que no se doblen. La dirección de la presión y el punto de ataque de la presión de trabajo tiene que elegirse de tal modo que

quede totalmente eliminada la posibilidad de que la pieza pueda flexionarse, bascular o deformarse. Los elementos de sujeción no deben aflojarse por sí solos durante el trabajo; deben ser manejables y ser fácilmente accesibles. Además deben hacer posible la visión sobre el sitio en que se trabaja y permitir una fácil colocación y extracción de las piezas. Para evitar un rápido desgaste, los elementos de sujeción se someten por lo general a un temple superficial. Cabe mencionar que la fuerza de sujeción puede ser aplicada por medios mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

A continuación se presenta una clasificación de los elementos de sujeción, además de algunos de sus principales y más usuales ejemplos.

4.6.1.- Fijación por medio de tornillos.

La fijación de piezas por medio de tornillo o barras roscadas es frecuente en virtud de lo fácil de su fabricación, efectividad y fácil manejo.

Puede ser de dos tipos, a saber:

- *De acción directa, figura 4.21a)*
- *De acción indirecta, figura 4.21b)*

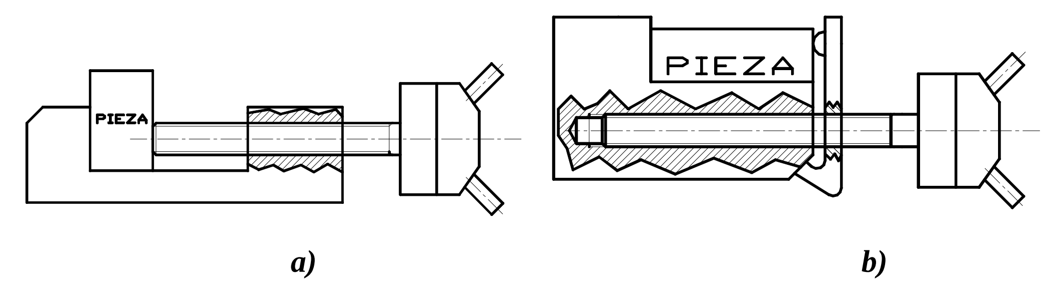


Figura 4.21.- Fijación por medio de tornillo. a)De acción directa b) De acción indirecta

Es importante prever los materiales adecuados en su construcción con el fin de evitar el aplastamiento de la rosca. Así mismo, debe evitarse la acción abrasiva de la viruta mediante protecciones adecuadas.

4.6.2.- Cuñas de sujeción

Las cuñas de sujeción rectas solo se emplean en caso de pequeños montajes para la sujeción directa de las piezas como se muestran en la figura 4.22. Las cuñas tienen generalmente una inclinación de 1:10; siempre van templadas y rectificadas. En sus

extremos llevan un rebaje o van bombeadas, con objeto de que las rebabas que pudiera producirse por martillazos poco cuidadosos para meterlas o sacarlas, no puedan dañar ni el montaje ni la pieza.

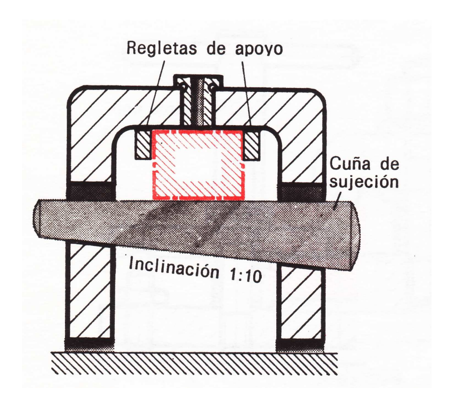
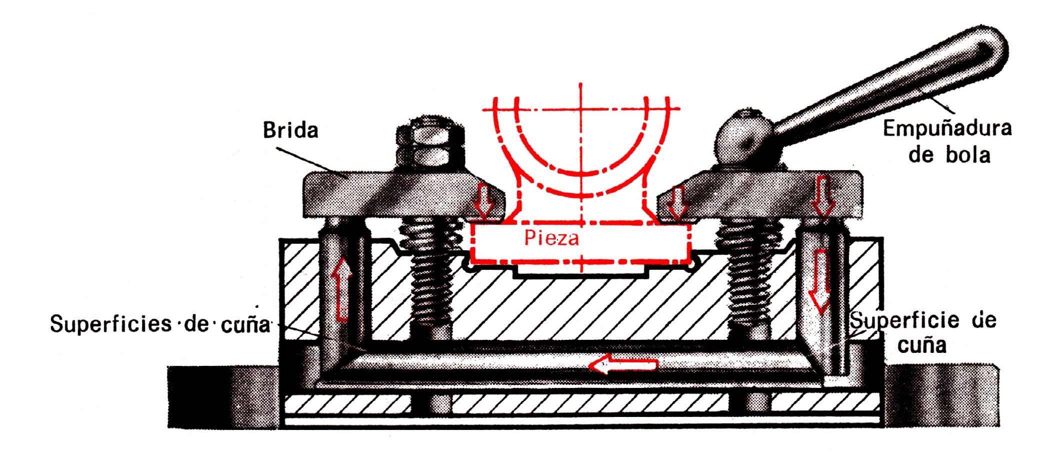


Figura 4.22.- Cuña de sujeción

El principal campo de las cuñas de sujeción lo constituyen los montajes múltiples o los montajes que poseen varios tipos de sujeción. A partir de un elemento de sujeción que produzca presión, se transmite la presión de sujeción a través de la cuña a todos los puntos de sujeción (figura 4.23).

A menudo, también resulta conveniente la cuña en aquellos puntos de sujeción que sean de difícil acceso.



Figuras 4.23. Cuñas de sujeción para varios puntos de apriete

4.6.3.- Sujeción mediante mordazas

Las mordazas empleadas constan fundamentalmente de dos partes (figura 4.24): Una parte fija 1 que se atornilla a la mesa de la maquina –herramienta por medio de tornillos colocados en las ranuras r y una parte móvil 4 que sujeta por un lado a la pieza a mecanizar.

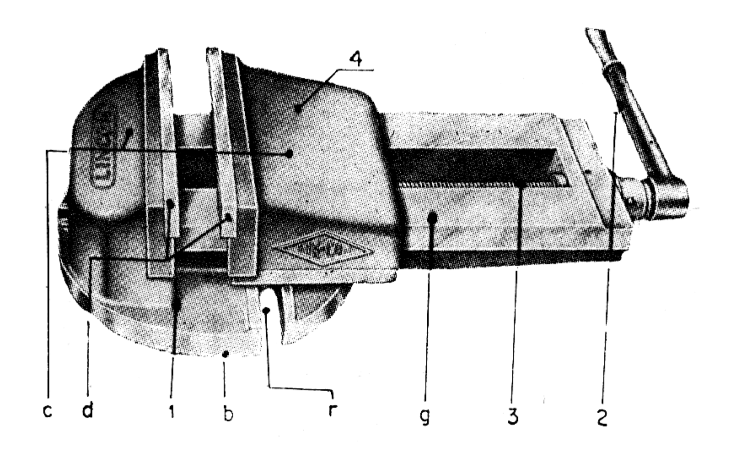


Figura 4.24. Sujeción por medio de mordazas

La parte fija forma la base b, una de las mandíbulas m de la boca de la mordaza y la guía g de la parte móvil. Además esta constituida por la palanca 2, que accionada hace girar el husillo 3 que tiene bloqueado su desplazamiento longitudinal y por lo tanto obliga a avanzar la tuerca l fijada a la otra mandíbula 4 de la boca. Cada mandíbula consta de un taco c y una parte de sujeción d de acero templado y estriado.

La figura 4.25 presenta un tipo de mordaza giratoria. La base b va colocada sobre un plato-base 5 graduado, sobre el que puede pivotar, cuando se aflojan las tuercas 6, el ángulo conveniente para la realización de un trabajo determinado.

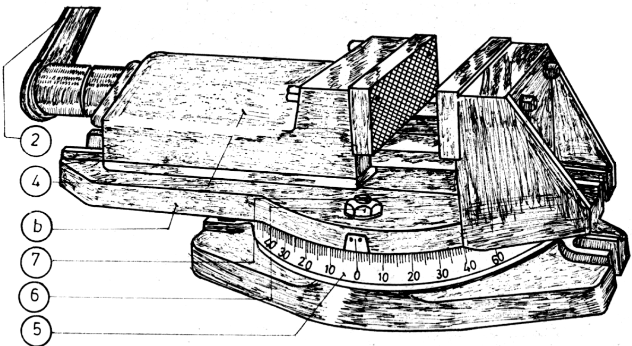


Figura 4.25.- Mordazas giratorias

Si se coloca la mordaza de la figura 4.25 sobre una base especial, se constituye una mordaza giratoria universal como la mostrada en la figura 4.26, denominada así porque puede colocar la pieza con la inclinación precisa, sea cual sea esta, respecto a la herramienta. Este tipo de mordaza se puede bloquear en la posición que se desee mediante la palanca 8 colocada debajo de la base. Este bloqueo es simultáneo respecto a los giros en los planos horizontal y vertical. La fijación de la base giratoria 9 se hace automáticamente cada 15^{0} con el perro resorte 10.

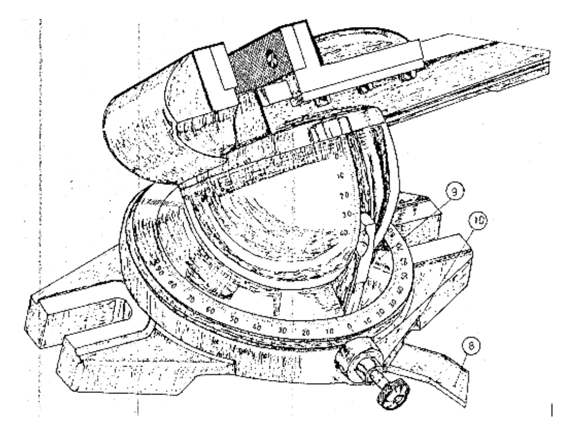


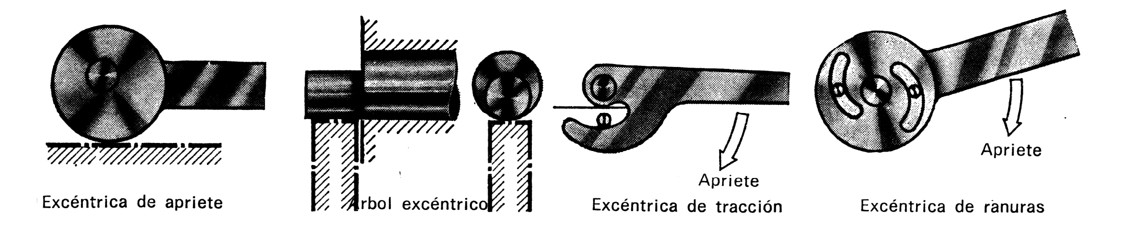
Figura 4.26. Mordaza giratoria universal

En todos estos tipos de mordazas, las mandíbulas d deben ser de acero templado; los tacos c y la guía g de acero moldeado; el husillo 3 y la tuerca t de acero aleado de alta resistencia.

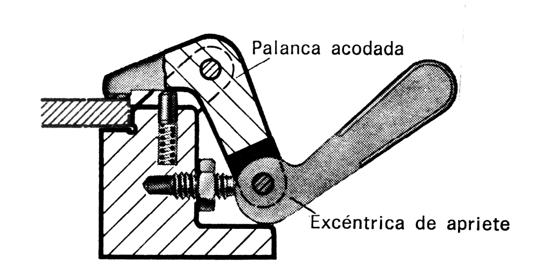
4.6.4.- Bridas de excéntrica

Las bridas de excéntrica deben ser de autobloqueo, es decir, no deben aflojarse por sí solas.

La sujeción de excéntrica puede actuar directamente sobre la pieza o también sobre otro elemento de sujeción (figuras 4.27, 4.28 y 4.29). Las operaciones de sujetar la pieza y de soltarla se realizan con ellas de modo muy rápido y seguro.



Figuras 4.27.- Ejemplos de aplicación de la sujeción por excéntricas



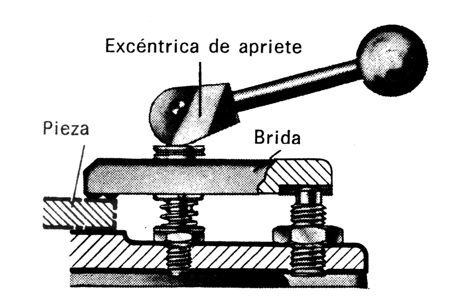


Figura 4.28.- Sujeción de excéntrica **Figura 4.29.- Sujeción con palanca acodada y excéntrica**

4.6.5.- Fijación por medio de palancas articuladas.

Existen mecanismos cuyo funcionamiento se basa en la multiplicación de una fuerza aplicada por medio de palancas articuladas, figura 4.30; su accionamiento puede ser manual, neumático o hidráulico.

Distintos fabricantes ofrecen series de tamaños escalonados para satisfacer distintas necesidades se aplican a procesos de armado, soldadura y taladrado.

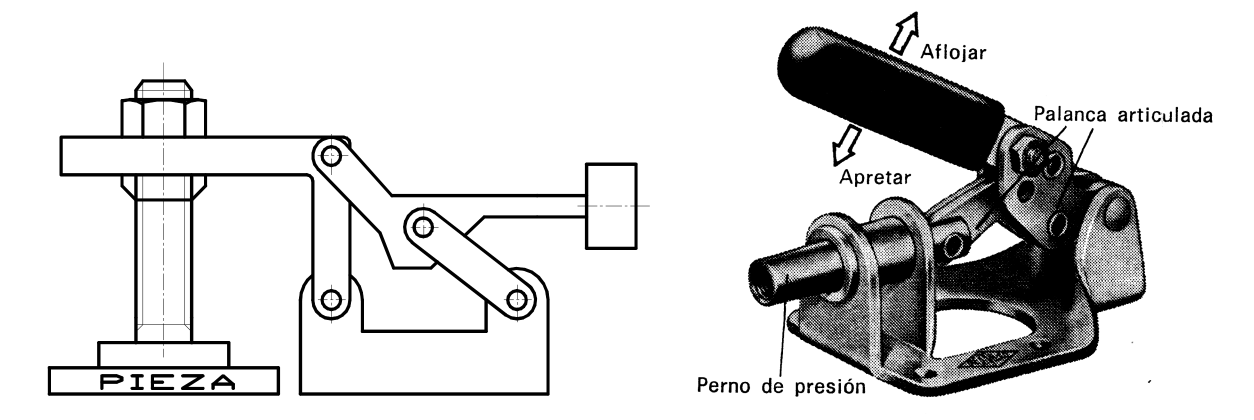


Figura 4.30.- Fijación por medio de palancas articuladas

Se trata básicamente de mecanismos de 4 barras cuya condición de cierre reversible corresponde a cierta posición de los centros de la articulación.

4.6.6.- Sujeción de bayoneta

Los pernos de sujeción, que deben al mismo tiempo hacer funciones de centrado, van muchas veces provistos de sujeción de bayoneta (figura 4.31). La leva tensora se fresa en un

casquillo cilíndrico y se prolonga todavía un poco en dirección axial con objeto de que pueda tirarse hacia atrás el perno de apriete.

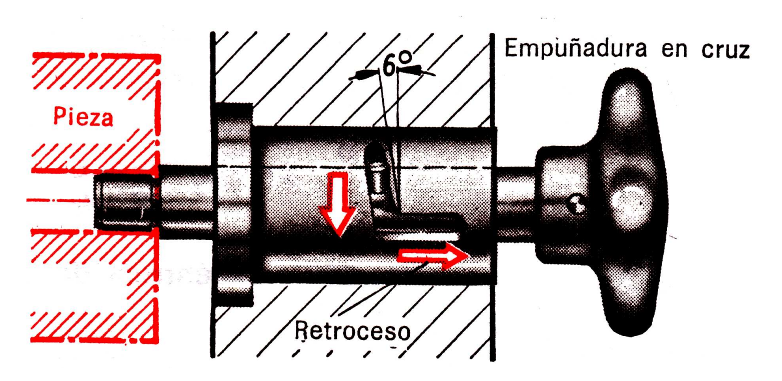


Figura 4.31.- Sujeción de bayoneta

La parte de ranura inclinada tiene un ángulo de paso de unos 6° con objeto de que al apretar se produzca una autoretención. Para conseguir que el perno de sujeción conserve la posición axial se dispone el montaje también con dos levas tensoras.

4.6.7.- Fijación por medio de bridas.

Las bridas son elementos de fijación que se utilizan con mucha frecuencia, básicamente son palancas accionadas por medio de tornillo o de excéntrica, figura 4.32.

Su construcción se realiza en aceros de medio carbono forjado o maquinado y debe ser rígida y segura.

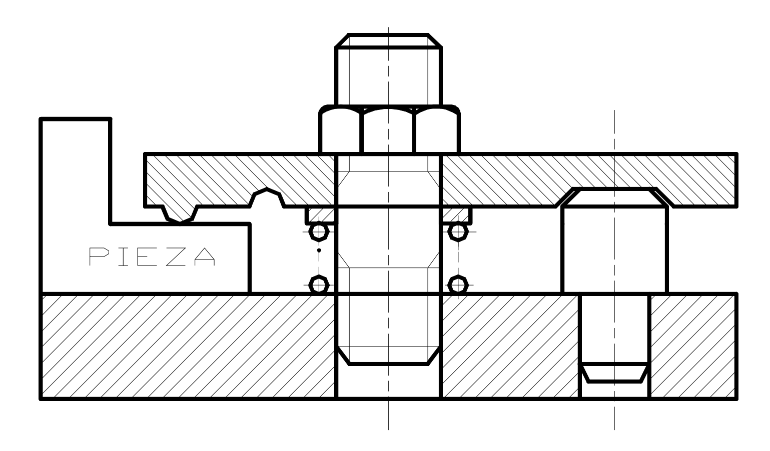


Figura 4.32.- Fijación por medio de bridas.

4.6.8.- Resortes

En el caso de piezas que no estén expuestas a una presión de trabajo demasiado elevada puede muchas veces ser suficiente una sujeción mediante resorte siempre que lo permita el perfil de los asientos (figura 4.33). El resorte tiene que permitir un cierto recorrido para colocación de las piezas pero debe dar, no obstante, la fuerza necesaria de sujeción. Pueden emplearse resortes helicoidales o resortes en forma de ballestas (figura 4.34).

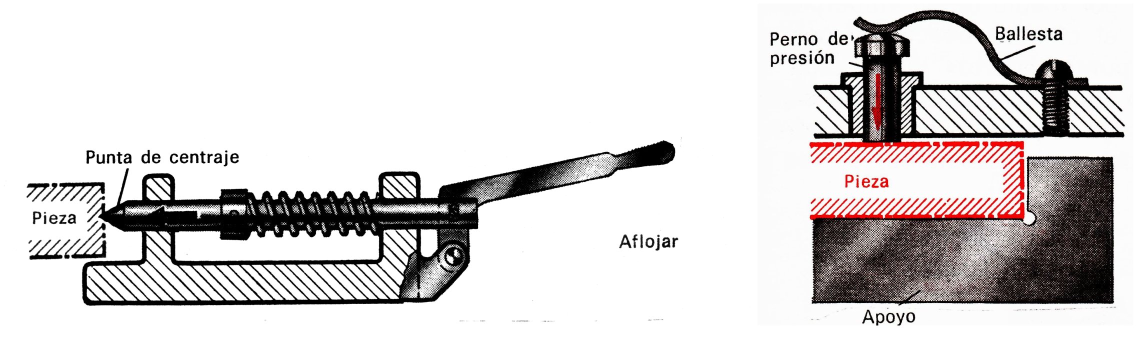


Figura 4.33.- Sujeción con resorte de presión **Figura 4.34.- Sujeción con resorte de ballesta**

4.6.9.- Reparto de presiones mediante masillas plásticas

Mediante el empleo de masillas plásticas puede repartirse la presión necesaria para la sujeción de modo muy uniforme y suave desde un punto central a los diversos puntos de sujeción del montaje (figura 4.35).

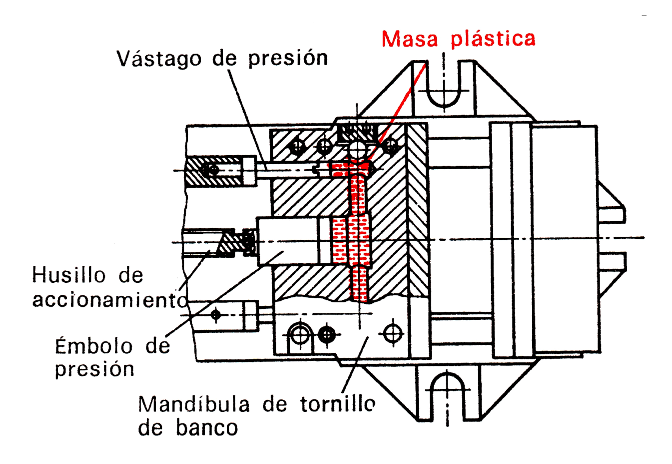


Figura 4.35.-.Reparto de la presión por medio de masillas plásticas

Como medio de presión se utiliza el PVC (cloruro de polivinilo) reblandecido. Mediante un embolo que es accionado por rosca o excéntrica se comprime la masilla; esta masilla

transmite la presión a los elementos de sujeción. Para sujetar todas las piezas dispuestas en el montaje basta por lo tanto accionar un solo mango o palanca.

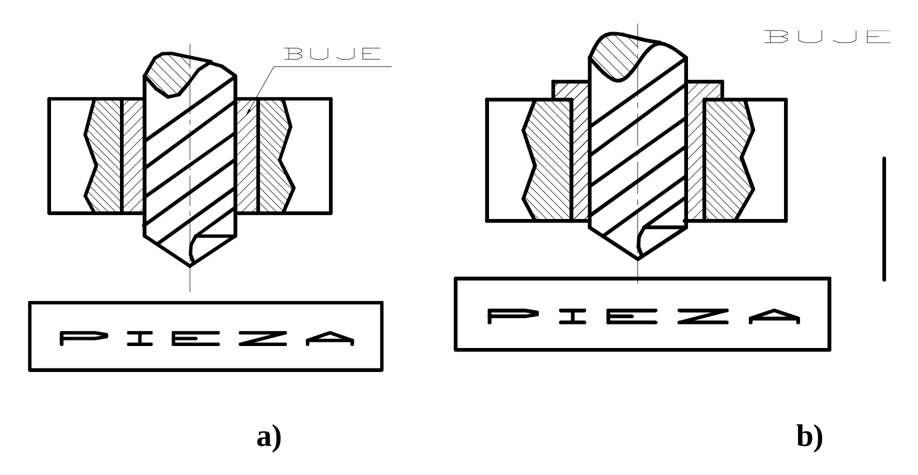
4.6.10.- Bujes guía o casquillos.

Sirven para guiar a las brocas durante el maquinado de un agujero y sus principales funciones son las siguientes:

- ***Eliminan defectos de afilado de la herramienta.***
- ***Elimina los defectos de posición de la pieza,***

Los hay de dos tipos.

a) ***Fijos, figura 4.36***
b) ***Móviles, figura 4.37***



a) b)

Figura 4.36.- Bujes fijos a) Sin cabeza b) Con cabeza

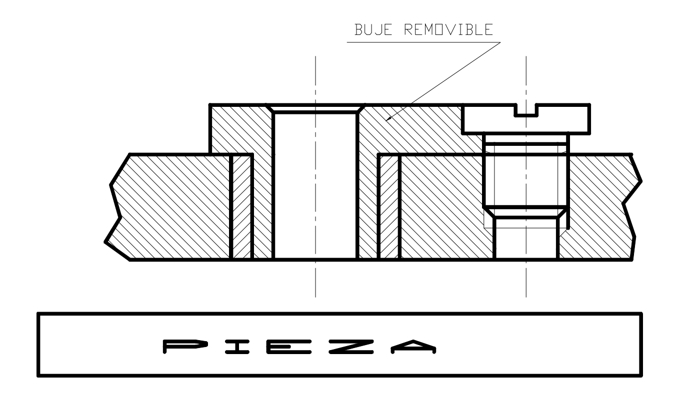


Figura 4.37.- Bujes móviles.

Los bujes móviles se utilizan para taladrados sucesivos de agujeros coaxiales sin desmontaje de la pieza, también se pueden utilizar para operaciones de roscado.

4.6.11.- Bloques V.

Se utiliza básicamente para el posicionamiento de piezas de sección circular, figura 4.38.

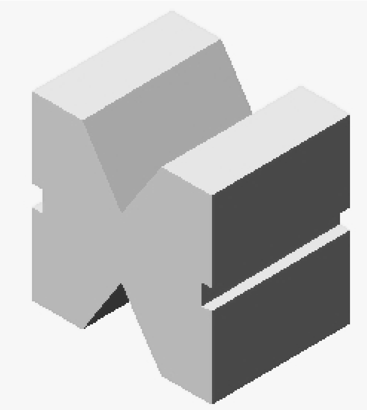


Figura 4.38.- Bloque V

4.6.12.- Sujeción neumática e hidráulica

La sujeción de piezas con ayuda de cilindros neumáticos o hidráulicos reduce notablemente los tiempos invertidos en la operación. A veces es posible con una sola palanca manual centrar la pieza y sujetarla simultáneamente por varios sitios. En la figura 4.39 se muestran algunos ejemplos.

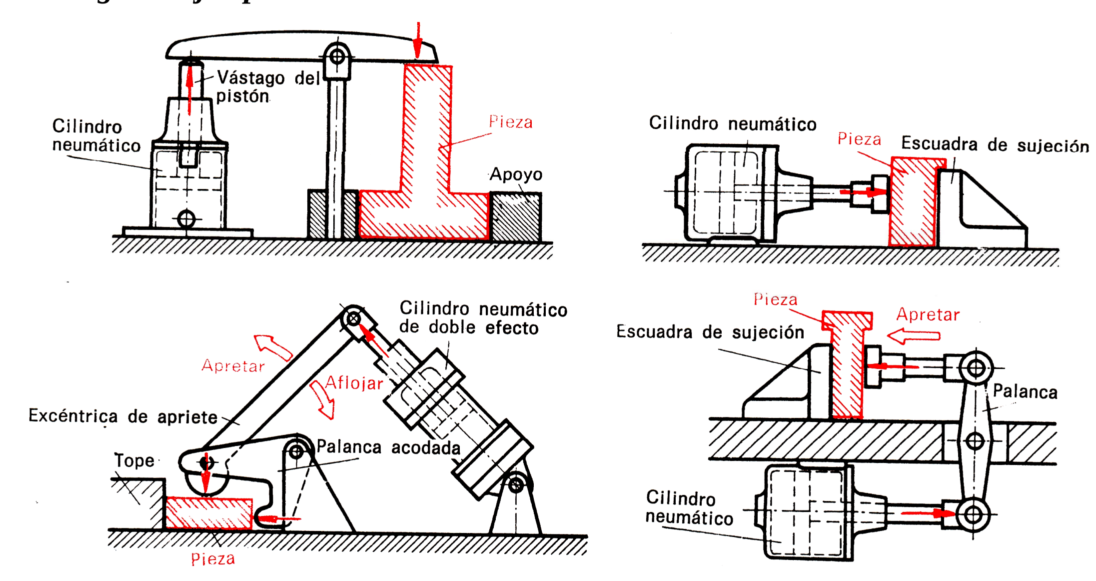


Figura 4.39.- Ejemplos de sujeción con aire a presión o con aceite hidráulico.

En los montajes pueden disponerse los cilindros de presión de tal modo que sujeten directamente la pieza mediante la fuerza axial del vástago del embolo. Pero las fuerzas de apriete pueden actuar también a través de otros elementos de sujeción tales como palancas, excéntricas o cuñas. Con esto pueden resultar multitud de posibilidades para sujetar las piezas de modo seguro y extraordinariamente rápido (figura 4.40).

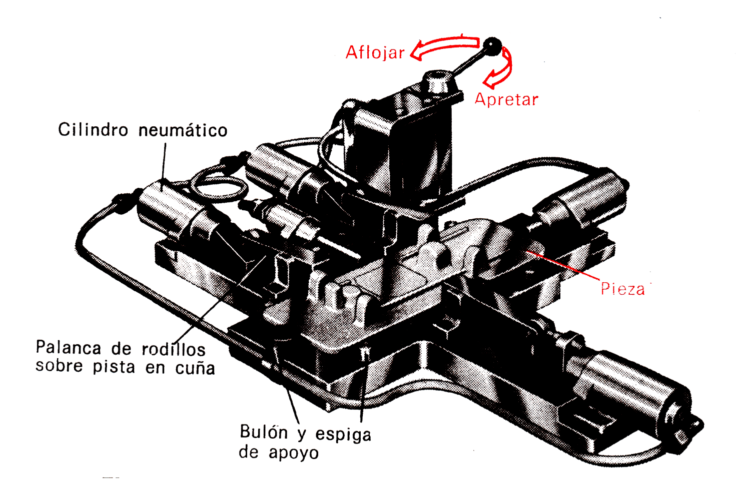


Figura 4.40.- Montaje para fresado con sujeción por aire a presión

CAPÍTULO 5
DISEÑO DE TROQUELES

5.1.- DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE TROQUELADO

La prensa es la máquina que se usa normalmente para operaciones de trabajo en frío, estas máquinas son capaces de proporcionar un impacto seco e instantáneo, aprovechando la energía cedida por la misma, para transformar una superficie metálica en una pieza de perfil previsto y definido, como es el caso del punzonado, u obtener un volumen metálico en forma de recipiente como en el caso del embutido, el estirado ó la extrusión. La variedad de herramientas empleadas en las prensas hace posible utilizar las mismas para muchos trabajos y operaciones diferentes.

Una prensa tiene el siguiente principio: proporcionar una velocidad a un volante mediante un motor, hasta que el volante almacene una cantidad de energía cinética determinada y a través de un disparo de trinquete, el volante ataca un cigüeñal sobre el que actúa una biela que tiene como misión arrastrar un carro entre dos guías de patín como se aprecia en la figura 5.1. Dicho carro se denomina carro porta punzones. Al hacer actuar el disparo de trinquete, el volante cederá en un instante su energía cinética que será en gran parte consumida por el trabajo realizado y el resto por un freno que actúa durante el retorno al punto de reposo y que evita un choque demasiado brusco contra el tope de retención en la parada.

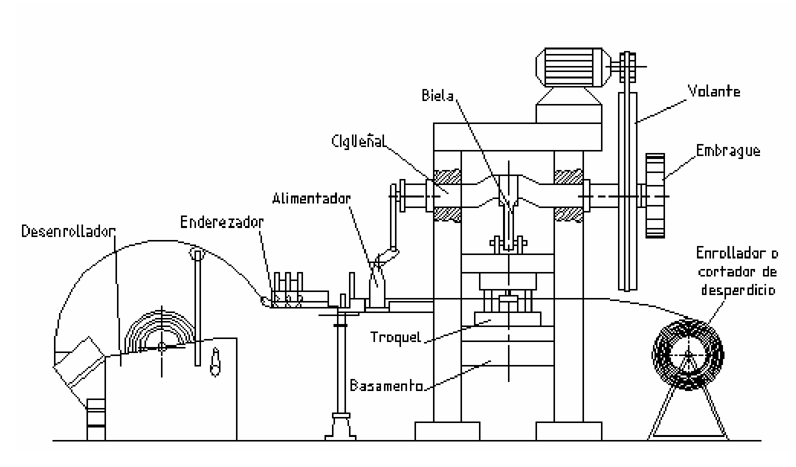
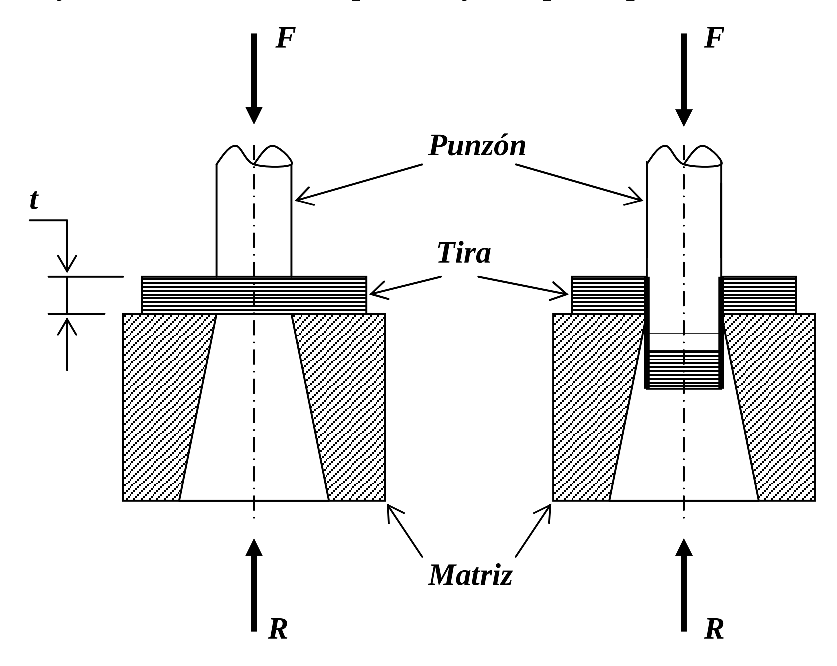


Figura 5.1.- Prensa troqueladora para punzonado y recortado.

Durante la operación se produce una deformación del material por arriba de su limite elástico, por lo que su comportamiento es plástico. En la figura 5.2 se observa que el punzón ejerce una presión continua sobre la placa, a esta presión se opone la resistencia al corte de la tira del material, entonces, cuando la presión es mayor que la resistencia al corte de la tira de material se produce el cizallamiento del metal. Se debe tener cuidado de que el espesor de la tira de material no sea igual o mayor que el diámetro del punzón, ya que la resistencia al corte es mayor a la resistencia del punzón, y esto puede provocar la rotura del punzón.



t = Espesor de la tira del material.

Figura 5.2.- Operación de punzonado.

Entonces como se puede observar, el material sufre inicialmente una deformación elástica, ya que las fibras del material tienden a estirarse progresivamente, conforme el punzón va penetrando, pero al rebasar el limite de elasticidad las fibras son cortadas y cuando la pieza esta libre, experimenta una rápida recuperación elástica.

5.2.- OPERACIONES REALIZADAS EN PRENSA

A pesar de que existen una gran variedad de operaciones que se pueden realizar con ayuda de prensas, a continuación se mencionan las operaciones más comunes:

- ***Punzonado***

Punzonado es la operación mecánica que consiste en obtener una figura geométrica determinada en forma de superficie plana sobre una lamina o una placa, cortándola mediante un juego de herramientas (las cuales son punzón y matriz) y de manera instantánea. Figura 5.3

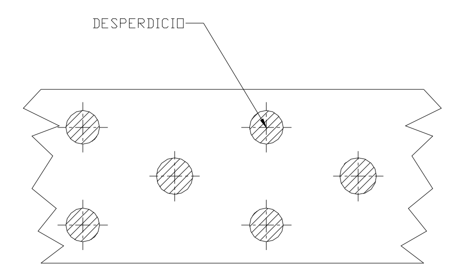


Figura 5.3.- Punzonado

- ***Recortado***

Esta operación consiste en cortar el contorno completo de la pieza con una carrera sencilla de la prensa. La tira de desperdicio se denomina esqueleto. Figura 5.4.

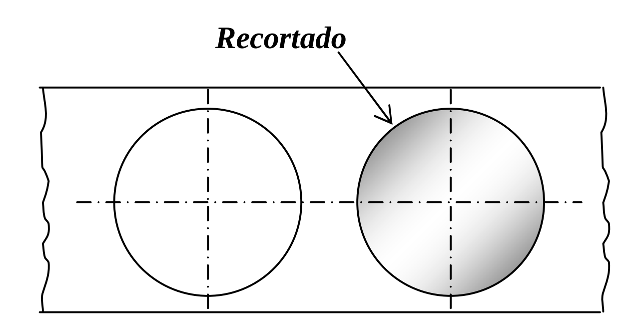
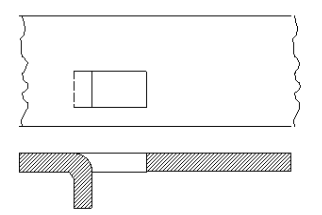


Figura 5.4.- Recortado.

- ***Ranurar***

Esta operación consiste en hacer cortes incompletos en una lámina, se puede hacer con el fin de formar o cortar una parte de la pieza de trabajo para que el recortado del contorno resulte más fácil de realizarse. Figura 5.5



.

Figura 5.5.- Ranurado.

- ***Cercenado***

Esta operación consiste en cortar toda la forma de las piezas a través de la tira de material, separándolas posteriormente. Durante esta operación no hay metal removido y el corte puede efectuarse en cualquier forma.

- ***Desprendido***

Esta operación es semejante a la operación de cercenado, pero esta produce desperdicio; se utiliza esta operación, cuando el recortado no tiene formas apareadas. Figura 5.6.

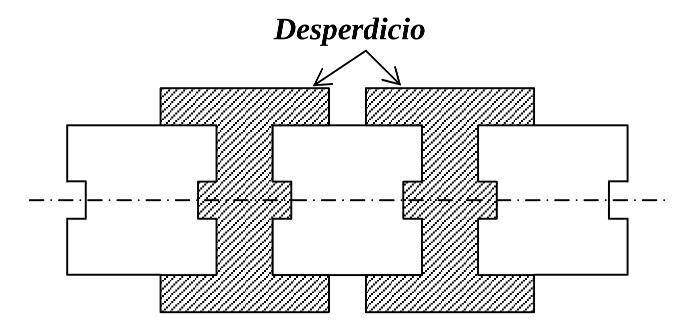


Figura 5.6.- Desprendido.

- ***Lanceteado***

Esta operación consiste en punzonar parcialmente un agujero o una sección de lámina para después practicarle un doblez. Normalmente el lancetado se realiza para liberar una sección de la pieza, de tal manera que se pueda plegar o doblar. Figura 5.7.

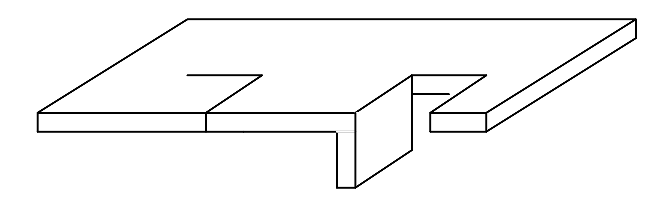


Figura. 5.7.- Lanceteado.

- ***Doblado***

Esta operación consiste en doblar una o más cejas en la pieza o proporcionarle una forma relativamente superficial, esto se puede hacer antes o después de recortar la pieza de la tira de material. Figura 5.8.

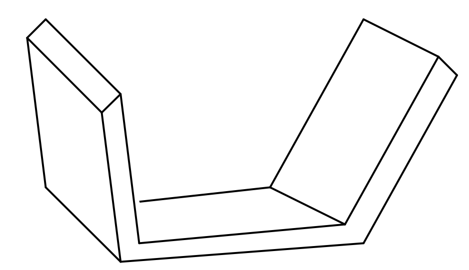


Figura 5.8. Doblado.

- ***Estirado (embutido)***

Es una operación de alargamiento la cual delinea el recorte en varias formas con cavidades. Figura 5.9.

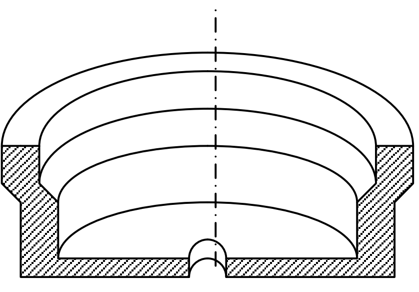


Figura 5.9.- Estirado.

- ***Desbarbado***

Esta operación se utiliza para eliminar excesos o barbas de metal en torno de las aristas de una pieza. También es una operación de acabado de dimensiones ya que se retira poco material. Se emplean dados sencillos, y para piezas grandes se puede utilizar un dado Brehn. Figura 5.10.

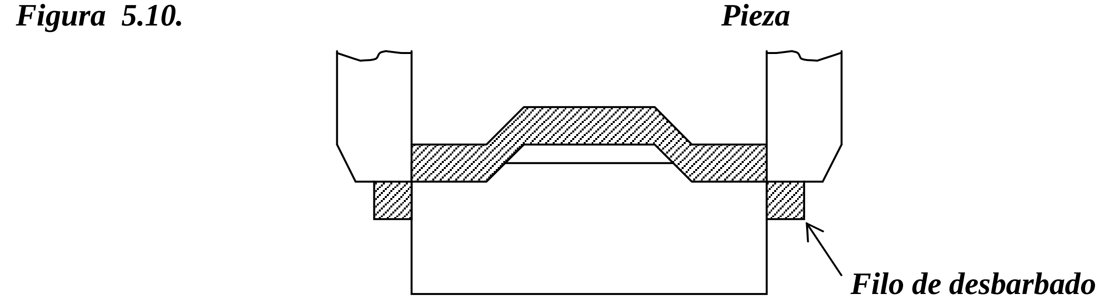


Figura. 5.10. Desbarbado.

- ***Acuñado***

El acuñado es una operación de compresión utilizada para imprimir una figura con relieves. Se emplea un dado cerrado. Con esta operación las monedas y vajillas obtienen sus diseños de impresión. Figura 5.11.

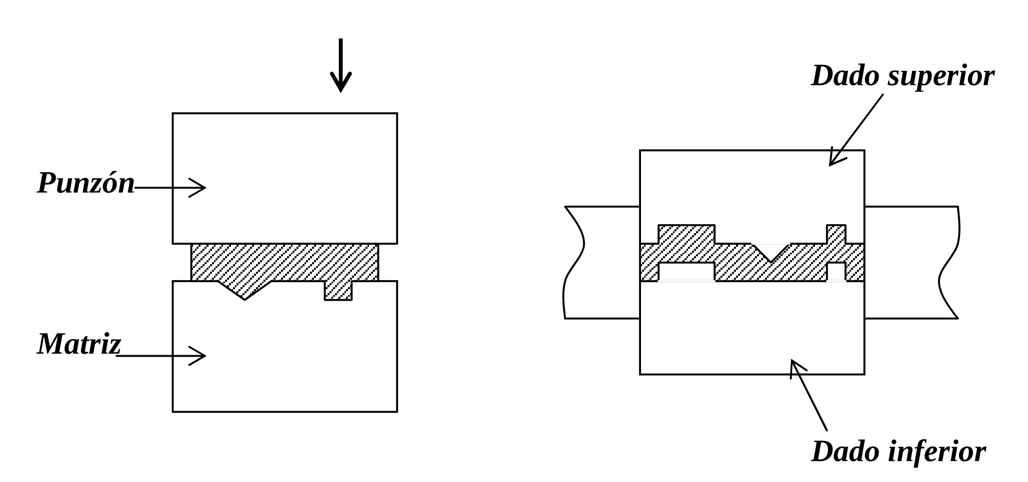


Figura 5.11.- Acuñado.

- ***Grabado***

Es semejante al acuñado y emplea la misma serie que el dimensionado, esto es, prensar una pieza para darle su forma mas exacta.

- ***Rasurado***

Se puede emplear para alisar los filos rugosos y eliminar barbas causadas por la operación de recorte. El material que se remueve es de unas cuantas milésimas de milímetro, como es el caso del rasurado de engranes para relojes.

<u>5.3.- ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN TROQUEL</u>

Casi todos los troqueles están constituidos por los mismos elementos, así, en la figura 5.12 se representa un troquel o herramienta de corte con sus elementos principales.

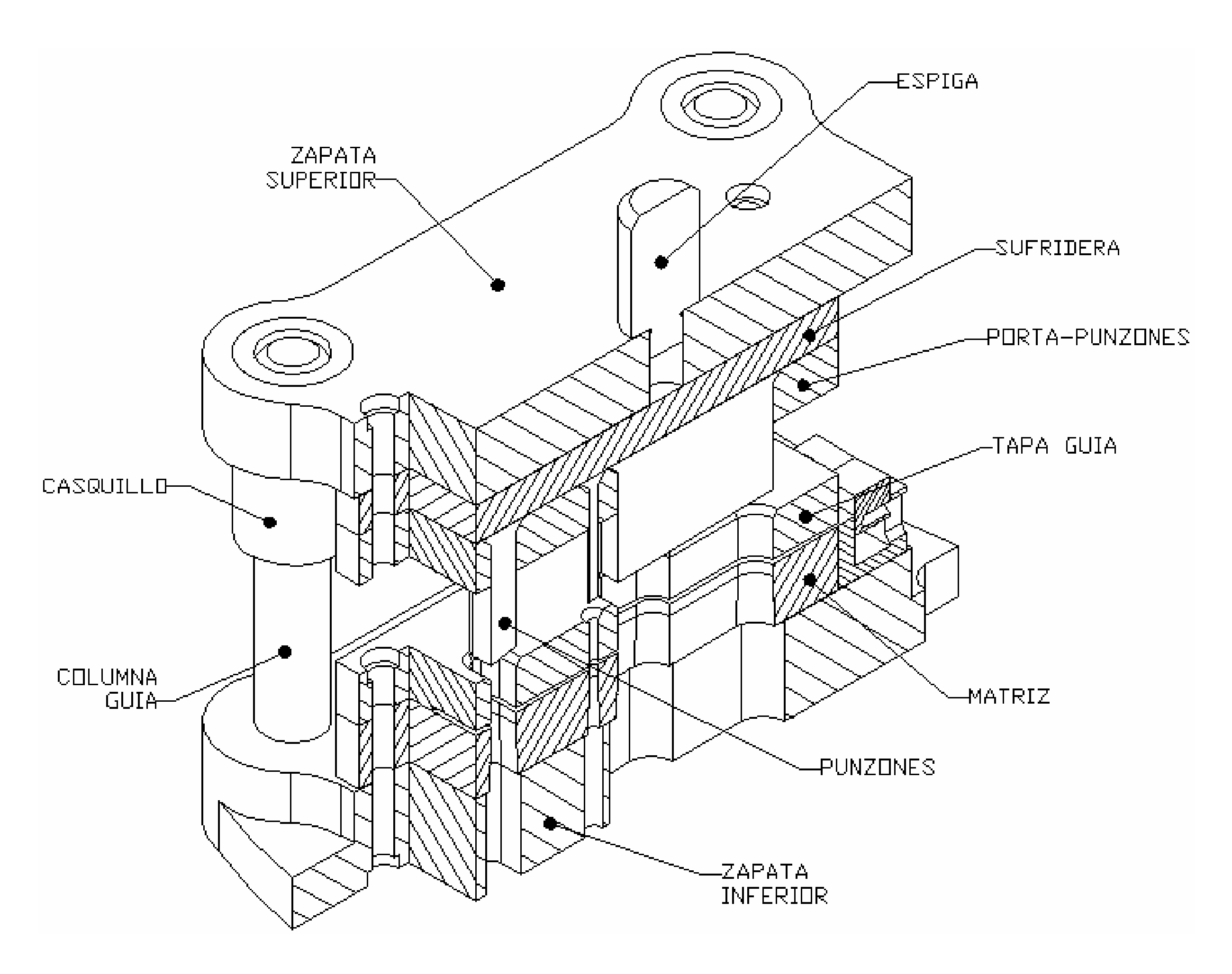
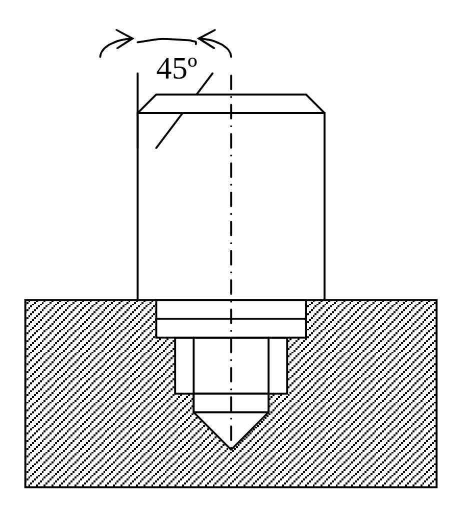


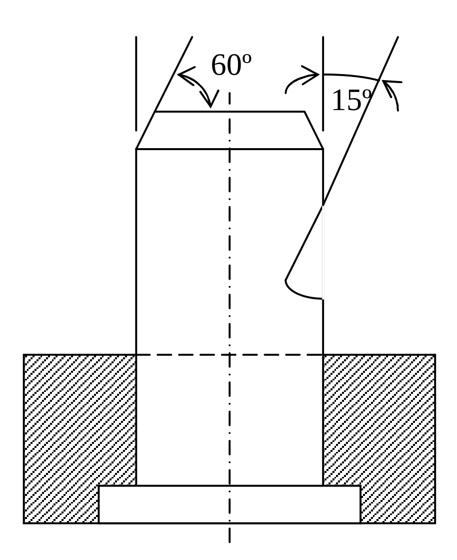
Figura 5.12.- Elementos de un troquel.

Como se puede apreciar el troquel esta constituido por los siguientes elementos:

- ***Espiga.- Este elemento es el medio de unión entre el carro de la prensa y la zapata superior de troquel. Normalmente las espigas son de forma cilíndrica, y en uno de sus extremos cuentan con una rosca, para adaptarse con facilidad a la zapata superior. La espiga puede ser de cuerpo liso o puede presentar una faceta tallada. En la figura 5.13 se observan algunos tipos de espiga, la entalladura y la forma cónica tienen por objeto lograr una sujeción mas firme en la prensa.***



a) Espiga para servicio ligero.



b) Espiga para servicio pesado.

Figura 5.13.- Tipos de espigas.

El dimensionamiento de la espiga varia en función de la capacidad de la prensa, para esto se cuenta con la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Dimensionamiento de la espiga.

DATOS	Capacidad de la prensa en toneladas métricas						
	4	8	10	20	30	40	60
ϕ	20	30	30	35	40	40	45
D	13	14	14	16	19	19	22
A	40	57	57	67	75	75	95
B	30	45	45	50	60	60	70
C	10	12	12	17	15	15	25

- ***Zapata superior.- Sirve para fijar el troquel al carro de la prensa por medio de la espiga. Y sujeta a la sufridera.***
- ***Sufridera.- Es la base de la placa porta punzones, y evita el desplazamiento axial de los punzones al momento del impacto.***
- ***Placa porta punzones.- Esta placa sostiene a los punzones, apreciándose 3 maneras diferentes de sujetar punzones en la figura 5.14:***

1. ***En esta forma de sujeción, el alojamiento es de forma cónica y se obtiene por recalcado de martillo. Figura 5.14a.***
2. ***Consiste en alojar al punzón dentro de una funda o casquillo, esto permite mayor resistencia a la flexión. Figura 5.14b.***
3. ***El punzón esta provisto de una cabeza (más grande que la dimensión del punzón), con el fin de ser empotrado en la parte superior. Figura 5.14c.***

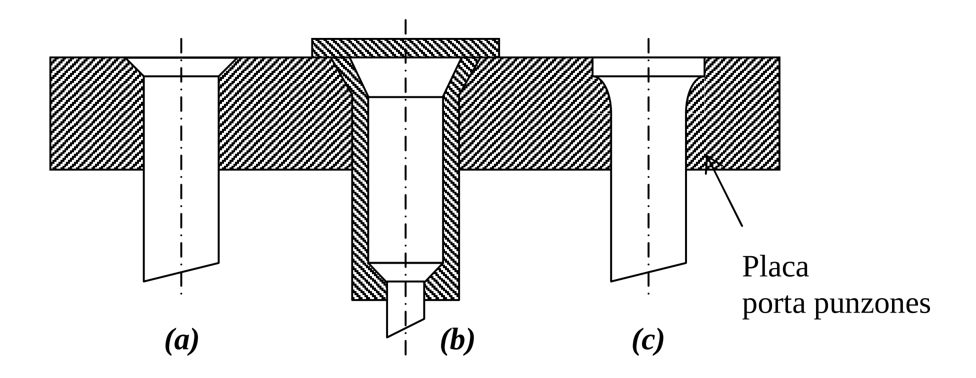


Figura 5.14.- Métodos para sujetar punzones.

- ***Punzones.-*** ***Se fijan a la placa porta punzones y se alinean con la abertura en la matriz. Los punzones tienen la figura total o parcial de la pieza que se requiere obtener, y su movimiento es perpendicular al de la matriz. Estos son las partes móviles del troquel y se sujetan a la zapata superior por medio de la placa porta punzones, su movimiento debe ser totalmente perpendicular a la matriz. Los punzones son herramientas de corte por lo que su diseño requiere de especial cuidado para evitar fracturas continuas, principalmente su diámetro es igual al espesor del material, para este caso se fabrican según la figura 5.15.***

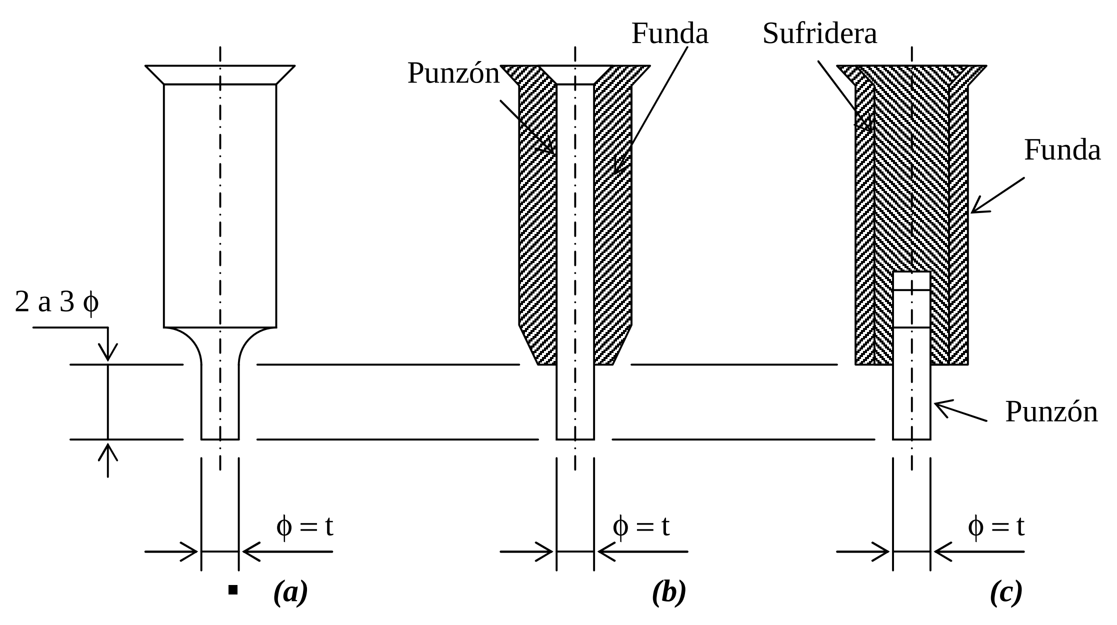


Figura 5.15.- Punzones de diseño especial, el diámetro es igual al espesor de la tira de material.

En el primer caso solamente una longitud de 2 a 3 veces el diámetro del punzón tiene igual diámetro que el agujero. En el segundo caso la perforación del agujero se realiza con una longitud igual que la anterior, el alma del punzón es una varilla de acero templado cuyo diámetro es igual al del agujero y esta varilla esta protegida por una funda que le impide flexionarse. En el tercer caso posee una varilla templada corta, que se atornilla a una varilla de diámetro mayor, esta varilla esta cubierta con una funda, este método es conveniente ya que se pueden hacer sustituciones más rápidas del punzón.

Para reducir las fuerzas de corte y suavizar el impacto de cargas pesadas, existen dos métodos para diseñar los punzones:

- ✓ ***Escalonar las longitudes de los punzones (Figura 5.16a)***
- ✓ ***Proporcionar mediante rectificado, un determinado ángulo al punzón de corte con el fin de proporcionar un efecto tijera (Figura 5.16b).***

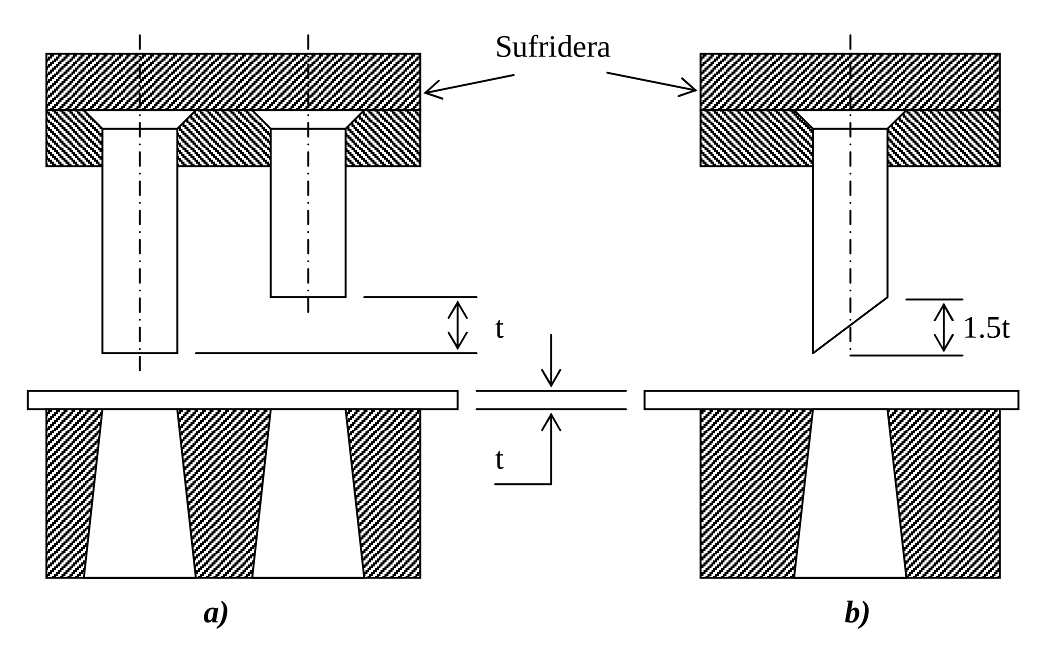


Figura 5.16. Diseño de los punzones.

- ***Placa extractora ó tapa guía.- Este elemento cumple con varias funciones como:***
  - ✓ ***Guía a los punzones.***
  - ✓ ***Guía a la tira de material durante su paso por el troquel.***
  - ✓ ***Actúa como prensa o retensor de la tira de material.***

La placa extractora tiene las mismas dimensiones que la matriz, y como a través de ella pasan los punzones, su fabricación debe ser cuidadosa. Las aristas superiores de la placa extractora deben tener un ángulo de aproximadamente 45º para evitar el almacenamiento de aceite y se reduzca la fricción.

El espesor de la placa extractora se calculara por medio de la siguiente ecuación:

$$E_t = \frac{h}{2.5} \qquad \text{.....................(5.1)}$$

Donde:
h .- Longitud del punzón.

- ***Matriz.- Es uno de los componentes esenciales del troquel, y soporta varios esfuerzos debido a los impactos. La matriz junto con los punzones es una herramienta de corte. Sus características geométricas son:***
  - ***Angulo de salida.***
  - ***Espesor.***
  - ***Holgura entre matriz y punzón.***
  - ***Vida de la matriz.***

- ***Tope.- Sirve para detener correctamente la tira de material cuando se avanza de un paso a otro, y existen dos tipos de topes:***
  - ***Tope de dedo.***
  - ***Tope de gatillo ó automáticos.***
- ***Zapata inferior.- Se sujeta por medio de tornillos al carro inferior de la prensa. La matriz se sujeta a este elemento por medio de tornillos Allen y pasadores.***
- ***Columnas guía.- Su función es la de mantener alineada la parte superior del troquel con respecto a la inferior.***

5.4.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TROQUEL

Para el diseño y construcción de un troquel tienen que realizarse algunos cálculos, que en conjunto se denominan memoria de calculo, siendo los más importantes los que a continuación se describen:

- ***Fuerza necesaria para el punzonado y recortado***

Inicialmente, para el cálculo del troquel se calcula la fuerza necesaria para el recortado, cuya formula es la siguiente:

$$\tau = \frac{P}{A}.$$

Despejando a la fuerza P, se tiene:

$$P = \tau * A = \tau * (Perimetro * t) \quad \textbf{........................(5.3)}$$

Donde:

P = Fuerza necesaria para el recortado y punzonado.

τ=Resistencia al corte de material.

Perímetro = Perímetro de la pieza a punzonar o recortar.

t = Espesor del material.

A = Área de corte.

En la tabla 5.2, se presenta la resistencia al corte de los materiales más usados en operaciones de troquelado.

Tabla 5.2. Resistencia al corte de algunos materiales.

Material	Recocido (Kg/mm^2)	Trabajado en frío (Kg/mm^2)
Aluminio	7 - 11	13 - 16
Aluminio duro	22	38
Zinc	12	20
Cobre	12 - 18	25 - 30
Aceros (%C):		
0.1	25	32
0.2	32	40
0.3	36	48
0.4	45	56
0.6	56	72
0.8	72	90
1	80	105
Latón	22 - 30	40 - 53
Bronce	30 - 40	40 - 60
Acero al Silicio	45	56
Acero inoxidable	50	56

- ***Centro de presión***

El centro de presión es un punto donde se considera que actúa concentrada la fuerza aplicada por la prensa, y es el centro de gravedad de la línea que es el perímetro del material. Este centro de presión coincide con el centroide de un área y su calculo es importante para que los esfuerzos producidos en los punzones sean uniformes y no se rompan prematuramente. El calculo matemático del centro de presión se evalúa por medio de las siguientes ecuaciones:

$$y = \frac{y_1 A_1 + y_2 A_2 + ... + y_n A_n}{A_1 + A_2 + ... + A_n} \quad ...\dots\dots(5.4)$$

$$x = \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2 + ... + x_n A_n}{A_1 + A_2 + ... + A_n} \quad ....(5.5)$$

Donde:

$\bar{x}$, $\bar{y}$.- Son las coordenadas del centro de presión (cp).

A_1, A_2, A_n .- Es el área de cada una de las formas geométricas simples en que se divide el área original.

x_1, x_2, x_n .- Es la distancia que existe entre el eje "y", y el centroide de cada una de las formas geométricas simples.

y_1, y_2, y_n .- Es la distancia que existe entre el eje "x", y el centroide de cada una de las formas geométricas simples.

En la tabla 5.3 se presenta la localización del centroide, así como el calculo del momento de inercia con respecto al eje x-x para las formas geométricas mas comunes:

Cuando se trabaja con figuras geométricas complejas, el centro de presión se calcula de acuerdo a los siguientes pasos:

1. ***Se divide el área original en formas geométricas simples, de tal manera que se pueda conocer casi de manera inmediata la ubicación del centroide de cada una de ellas.***

2. ***Se establece un par de ejes de diferencia a partir de los cuales se hacen todas las mediciones.***
3. ***Se aplican las ecuaciones antes dadas a cada una de las áreas elementales.***

Tabla 5.3.- Localización del centroide y calculo del momento de inercia para las formas geométricas más comunes.

Forma	*Área*	*Centroide*	*Momento de inercia* $I_{(x\text{-}x)}$
b, h	$A = b*h$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = h/2$	$I = \frac{1}{12}bh^3$
b, h	$A = \frac{b*h}{2}$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = \frac{1}{3}h$	$I = \frac{1}{36}bh^3$
d	$A = \frac{1}{4}\pi d^2$ $A = \pi r^2$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = 0$	$I = \frac{\pi d^4}{64}$
r	$A = \frac{\pi r^2}{2}$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$	$I = 0.11r^4$
r	$A = \frac{\pi r^2}{4}$	$\bar{x} = \frac{4r}{3\pi}$ $\bar{y} = \frac{4r}{3\pi}$	$I = 0.055r^4$
b, h	$A = \frac{b*h}{2}$	$\bar{x} = \frac{1}{3}b$ $\bar{y} = \frac{1}{3}h$	$I = \frac{1}{36}bh^3$
a, h	$A = \frac{a*h}{3}$	$\bar{x} = \frac{3a}{4}$ $\bar{y} = \frac{3h}{10}$	$I = \frac{8a^3b}{175}$

Nota.- En caso de que el área con la que se este trabajando tenga un eje de simetría ya no será necesario calcular la coordenada del centroide correspondiente a dicho eje.

5.5.- DIMENSIONAMIENTO DE LA MATRIZ

El espesor de la matriz se rige por la resistencia necesaria para soportar las fuerzas de corte, considerando que la matriz es de acero para herramientas.

- ✓ ***Para perímetros de corte de hasta 76 mm (3 pulg.), el espesor será de 19 mm (3/4 pulg.)***
- ✓ ***Para perímetros de corte entre 76 mm (3 pulg.) y 102 mm (4 pulg.) un espesor de 25.4 mm (1 pulg.),***
- ✓ ***Para perímetros mayores el espesor a emplear será de 32 mm (1 ¼ pulg.).***

La distancia mínima que se deberá de tener entre la abertura de la matriz y las orillas será de 32 mm (1 ¼ pulg.) como se aprecia en la figura 5.17.

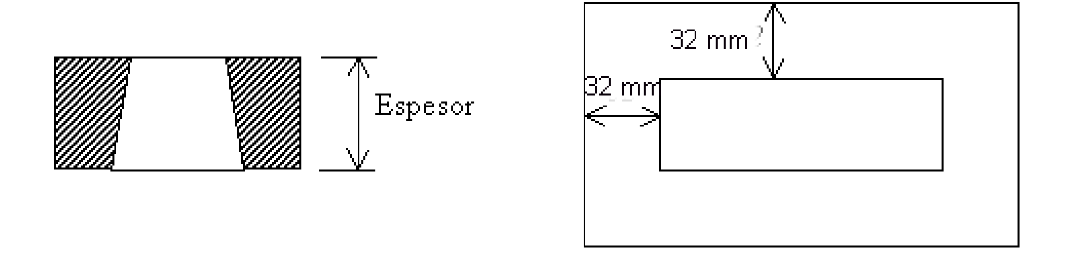


Figura 5.17.- Dimensionamiento de la matriz.

- ➢ ***Angulo de escape del agujero de la matriz***

Inmediatamente después de que la pieza es cortada, ésta experimenta una rápida recuperación elástica, lo cual ocasiona que quede retenida en la pared del agujero de la matriz, por lo que la siguiente pieza que se corta, empujará a la primera, sin embargo cada vez será necesario emplear mas energía debido a la fricción que existe entre la pieza y la pared del agujero. Debido a esto, el agujero de la matriz debe ser más amplio en su parte inferior, para disminuir las fuerzas de fricción a medida que la pieza baje por el agujero. El ángulo de escape dependerá principalmente del material, el espesor a cortar y el número de

cortes a realizar. Entonces de acuerdo a lo expuesto anteriormente el ángulo de escape se puede dividir en 3 grupos:

1. ***El ángulo de escape comenzará en la arista de corte, si los materiales a utilizar son los metales blandos, como el plomo, cobre, aluminio, latón y bronce. Figura 5.18***

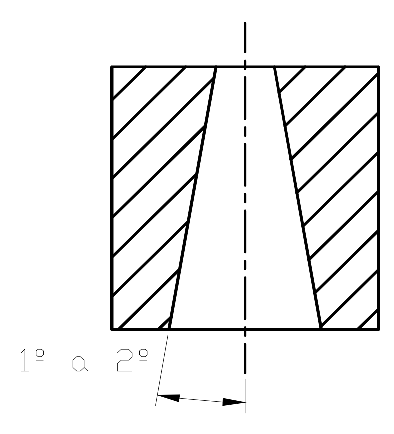


Figura 5.18.- Angulo de salida para materiales blandos

2. ***El ángulo de escape comenzará después de una parte recta que será igual a 2 ó 3 veces el espesor de la tira de material, y se utilizará para metales duros, como el hierro y el acero (figura 5.19).***

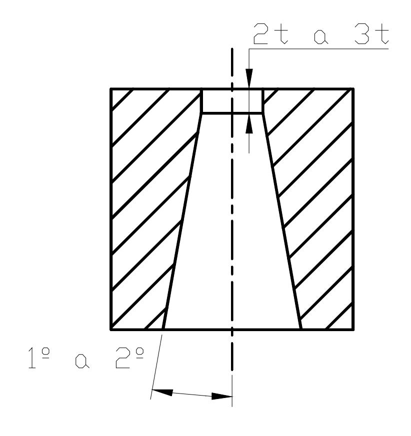


Figura 5.19.- Angulo de salida para materiales duros

3. ***El ángulo de escape comenzará a partir de la arista de corte de la matriz y hasta una profundidad de 2 ó 3 veces el espesor de la tira de material, formando una conicidad desde lo profundo, que irá aumentando; se utiliza para el corte de metales muy duros cuyas piezas no requieren contornos precisos. Figura 5.20***

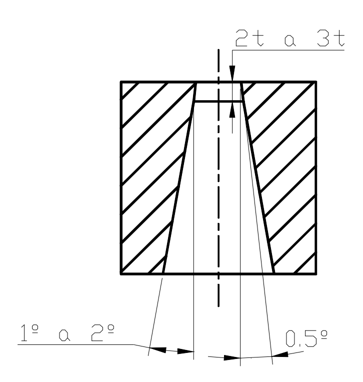


Figura 5.20.- Angulo de salida para materiales semiduros

Cuando se desean obtener contornos muy precisos, el ángulo de escape referido en el segundo caso es el más conveniente, ya que después de cortar un gran numero de piezas, la arista de corte se desafila y se puede afilar nuevamente sin alterar el contorno de la figura original, nótese que esta cambia si se afila a la matriz con ángulo de escape igual a los casos primero o tercero.

En el tercer caso, debido a que se cortan metales duros, se pretende reducir al mínimo las fuerzas de fricción y la presión de corte; sin embrago al rectificar el filo cortante, el contorno aumenta ligeramente y el perfil sufre una leve modificación.

Si se desea obtener contornos muy precisos, el segundo caso es el mas conveniente, ya que después de cortar un gran numero de piezas, la arista de corte se desafila y se puede afilar nuevamente, sin alterar el contorno de la figura. En cambio en el tercer caso, como se quieren cortar metales duros, se pretende reducir al mínimo las fuerzas de fricción y la presión de corte, pero al rectificar el filo cortante, el contorno aumenta y el perfil sufre una pequeña modificación.

- ***Fijación de la matriz a la zapata inferior***

Para secciones de matriz de hasta 175 mm^2 (7 plg^2), se emplearan 2 tornillos Allen de 9.5 mm y 2 pasadores de 9.5 mm. Figura. 5.21

T .- Tornillo Allen.

P.- Pasador.

b.- Largo de la matriz.

h.- Ancho de la matriz.

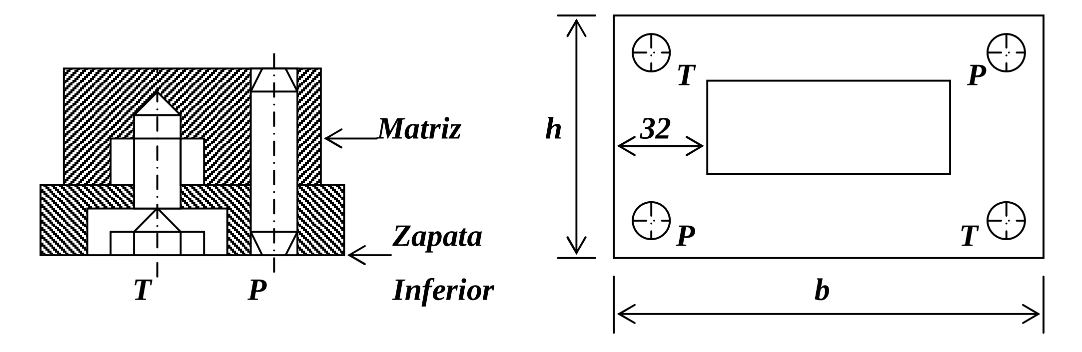


Figura 5.21.- Fijación de la matriz.

Para secciones de matriz mayores, emplear 3 tornillos Allen y 3 pasadores de 12.7 mm (1/2 pulg.). Figura 5.22.

T .- Tornillo Allen.
P.- Pasador.

b.- Largo de la matriz.

h.- Ancho de la matriz.

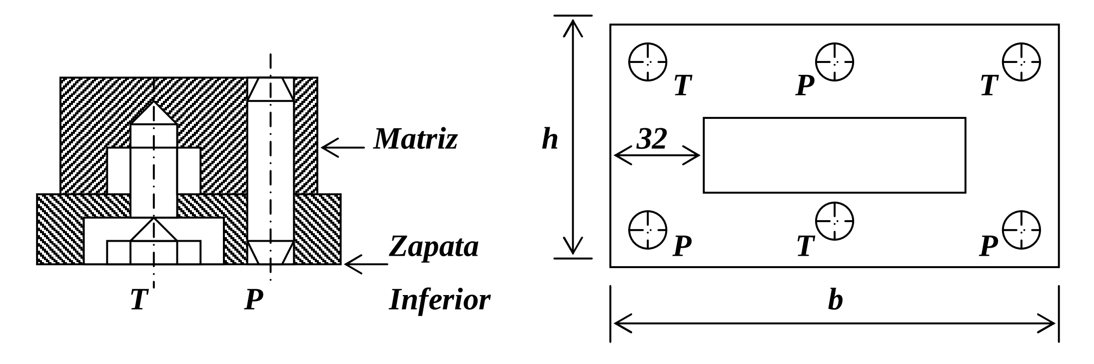


Figura 5.22.- Fijación de la matriz

- ***Ancho de la tira de material***

Se va a tomar una sobremedida que se va a aplicar a las dimensiones de la pieza, y será de dos veces el espesor (t) de la tira de material. Esta sobremedida sirve para que a la hora de

que penetra el punzón en la tira de material, esta no se rompa por concentración de esfuerzos. Figura 5.23.

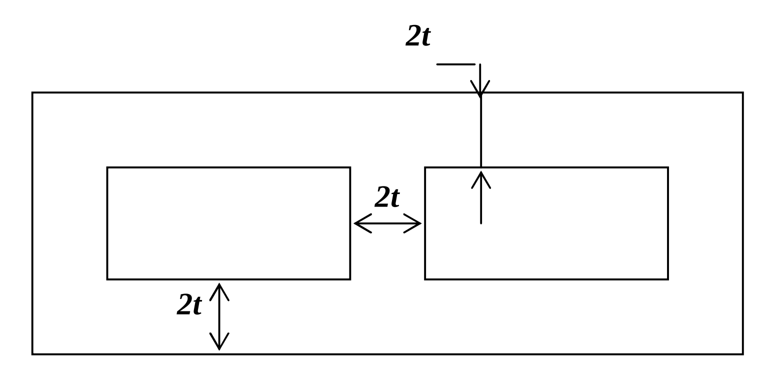
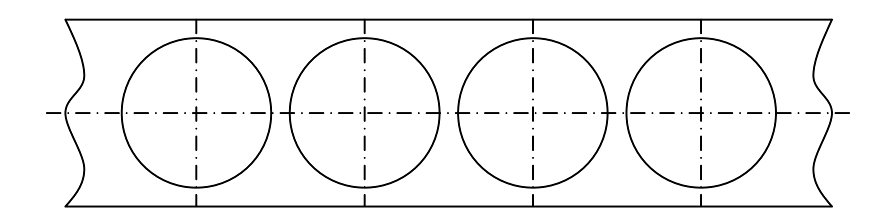


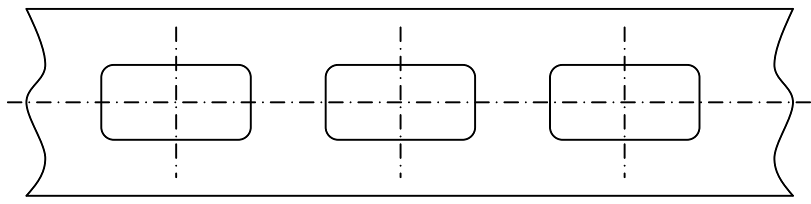
Figura 5.23.- Ancho de tira de material.

- ***Disposición de figuras***

La disposición de las figuras es muy importante para la reducción de los desperdicios de material, ya que en la industria se producen grandes cantidades de piezas, y lo que se pretende es reducir costos. Las piezas producidas con frecuencia son de formas irregulares, por lo que pueden ser situadas ya sea de manera transversal o longitudinal, en el centro de la tira de material (figura 5.24) o diagonalmente. Esta disposición debe analizarse correctamente, ya que se pretende obtener el mayor numero de piezas por unidad de área empleada y reducir el material de desperdicio. En ocasiones las piezas no son simétricas, por lo que no es posible cortarlas de manera continua.



a) Disposición correcta de una pieza con su eje de simetría en el centro de la tira de material.



b) Disposición incorrecta de una pieza.

Figura 5.24.- Disposición correcta e incorrecta de una pieza.

También se debe de analizar la distancia mínima entre dos piezas consecutivas, ya que si la distancia es menor a la mínima recomendada, se puede romper el punzón y puede que los cortes no sean exactos

- ***Claro u holgura.***

El claro u holgura se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{t}{K} \quad \text{...........................(5.6)}$$

Donde:

C = Claro u holgura.

T = Espesor de la tira de material.

K = Constante.

Para poder calcular el claro u holgura se utiliza la tabla 5.4:

Tabla. 5.4. Constante K para algunos materiales.

MATERIAL	K
Cobre	21
Laton	20
Acero suave t < 6mm	17
Acero semisuave t < 6mm	16
Acero duro	14
Aluminio	10

El tamaño del punzón controla el tamaño del agujero y el tamaño de la matriz controla el tamaño de la pieza recortada, por lo tanto, se tiene que para la operación de punzonado el tamaño básico del punzón (d) será igual al tamaño original del agujero que se desea realizar (figura 5.25 a) mientras que en la operación de recortado el tamaño del punzón será menor al tamaño de la pieza requerida, mientras que el de la matriz será igual (figura 5.25b).

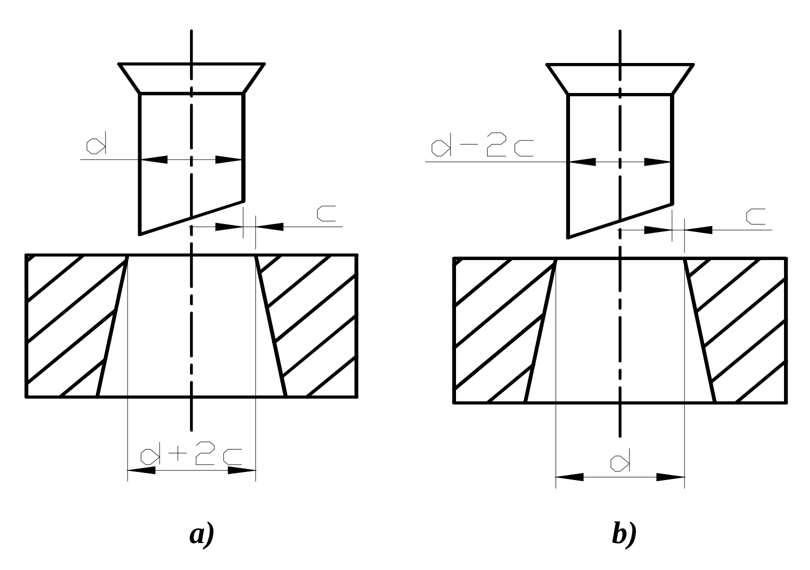


Figura 5.25.- Dimensionamiento del punzón y matriz en las operaciones de punzonado y recortado.

- ***Longitud máxima del punzón más delgado***

La longitud máxima del punzón más delgado se calcula con la ayuda de la ecuación de Euler, esto es, considerando que el punzón es una columna larga, así:

$$Lp = \sqrt{\frac{\pi^2 * E * I}{Pcr}} \quad \textbf{...............(5.7)}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad = 2.1 x 10^6 kg/cm^2 (30 x 10^6 lb/plg^2).

I =Menor momento de inercia de la sección (se calcula según la Tabla 5.3).
Lp = Longitud del punzón.

Pcr = Carga que produce pandeo.

5.6.- DOBLADO.

También denominado plegado, consiste en modificar la forma de una lamina, manteniendo el paralelismo de sus caras y el espesor.

Cuando se trata de producir perfiles de chapas o plegados de dimensiones relativamente grandes, y en los casos de tamaños de fácil montaje en las prensas, se realiza con herramientas de forma especial llamadas estampas de doblar.

Se debe cuidar que durante la operación no sufra alargamientos el material, pues con ello ocasionaría una disminución indeseable en el espesor de la lamina.

El doblado se realiza entre ángulos que varían de 0º a 180º con punzones redondeados, para evitar que la chapa se rompa durante la operación.

El doblado se puede hacer en el mismo equipo que el utilizado para corte o punzonado, es decir, en prensas de cigüeñal excéntrico operadas por levas, si la longitud de doblez no es muy grande o en prensas plegadoras o de cortina, si el doblez es de una longitud apreciable.

Un doblado simple consiste en un doblez recto a la hoja de metal; operaciones tales como la formación de rebordes, formación de juntas y el plegado son similares aunque un poco más complicadas

Dichas operaciones implican que el metal sea esforzado tanto a la tensión como a la compresión hasta valores por debajo de la resistencia máxima del material, sin cambio apreciable en su espesor.

El metal ya doblado retiene algo de su elasticidad original, presentándose una recuperación elástica, una vez retirado el punzón , este fenómeno se conoce como retorno elástico, figura 5.26. Durante el retorno elástico las fibras en compresión se dilatan ligeramente y las que están a tensión se contraen, la acción original que el doblez se abra ligeramente. Para corregir esto, se hace un doblez mayor para que al quitar la presión, la pieza regrese a su forma correcta.

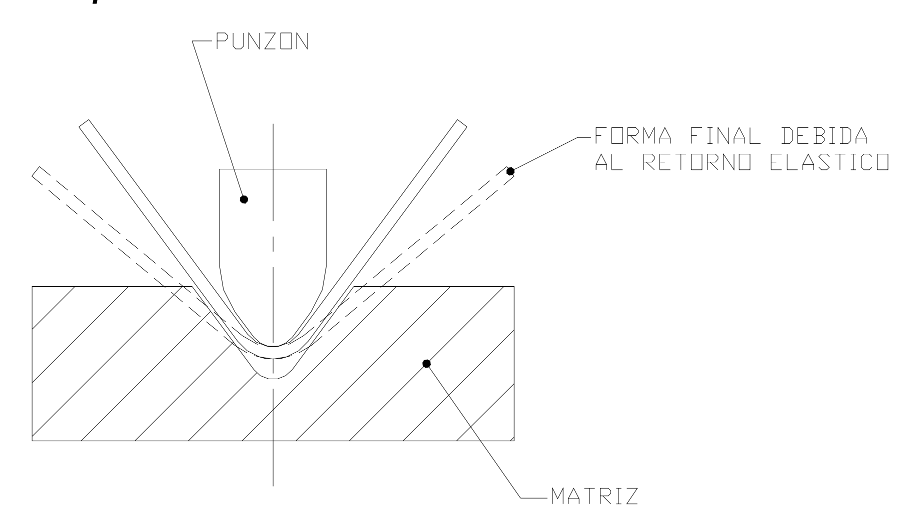


Figura 5.26.- Retorno elástico que sufre el material recién deformado.

El radio mínimo del doblez, figura 5.27, varia de acuerdo con la ductilidad y espesor del material, aunque es recomendable que no sea menor al valor del espesor del material.

Con fin de no estirar excesivamente la fibra exterior y para garantizar el doblado, sin roturas, se considera como radio mínimo de doblado la tabla 5.5.

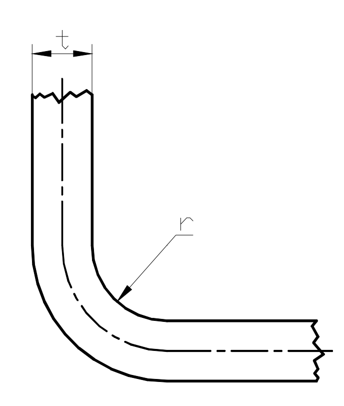


Figura 5.27.- Radio mínimo de doblado.

Tabla 5.5.- Radio mínimo de doblado para algunos materiales.

Material	***Radio mínimo (r)***	
	Perpendicular a la fibra	***Paralelo a la fibra***
Latón Aluminio Acero dulce	***t a 2t***	***3t a 4t***
Acero duro	***3t a 4t***	***5t a 6t***

Un aspecto importante a considerar en el diseño de herramental para las operaciones de doblado, es la orientación del grano en la lámina o chapa de metal. Cuando el material se lamina, las fibras (formadas por el agrupamiento de granos) se orientan en dirección longitudinal. Esto ocasiona que a nivel microscópico la apariencia sea como las vetas de un trozo de madera.

Como es bien sabido, la madera soporta mayores esfuerzos en la dirección del grano que perpendicularmente a ella. Algunas veces y en función de la aplicación de la pieza, la disposición o acomodo de la figura en la tira progresiva, esta gobernada por la orientación del grano.

5.7.- CLASIFICACIÓN DE TROQUELES PARA DOBLADO.

Se pueden subdividir en tres grupos generales. El primer grupo, comprende únicamente las herramientas que reciben la pieza prepunzonada. Su misión es efectuar los dobleces, curvaturas, etc. que den el acabado final a la pieza de trabajo.

El segundo grupo lo forman los troqueles que punzonan y doblan; proporcionando la pieza terminada. El tercero y ultimo abarca los troqueles más complejos, que efectúan embuticiones, doblados y punzonados. La elección de cualquier tipo de troquel depende por la clase de pieza a obtener. Los de doblar pueden conformar una placa metálica plana en una pieza cuya forma se ha determinado anteriormente.

Es importante hacer mención aquí que durante el doblado de alguna pieza, esta no se debe de mover, ya que si ocurriese, se tiene el riesgo de que la pieza salga deformada, es decir, sus dimensiones no son las adecuadas. Cuando las formas de las piezas se obtienen por medio de un solo golpe, se quedan alojadas energéticamente en el interior de la matriz, ocasionando dificultades para la extracción manual. La solución a este pequeño, pero importante problema consiste en colocar extractores y pisadores, tanto en el punzón como en la matriz. Estos extractores tienen la función de prensa-chapas, es decir, evitar la deformación previa de la pieza. El pisador evita la deformación de la pieza cuando ataca el punzón de doblado, por ello en muchos casos es conveniente su colocación.

5.7.1.- Tipos de dados o matrices para realizar la operación de doblado.

Los dados o matrices más comúnmente usados en los troqueles se dividen en tres grupos generales, los cuales son:

- ***Dados V (figura 5.28). Se componen de un bloque en V y de un punzón de la misma forma. El ancho de la abertura en la V es ordinariamente de al menos ocho veces el espesor de la pieza a trabajar. Durante la operación, la lamina se coloca sobre la matriz, el punzón desciende entonces, prensando la pieza en la V para formar el doblez. El ángulo del doblez puede modificarse, ajustando la distancia que recorre la chapa en la V, cuando es forzada por el punzón.***

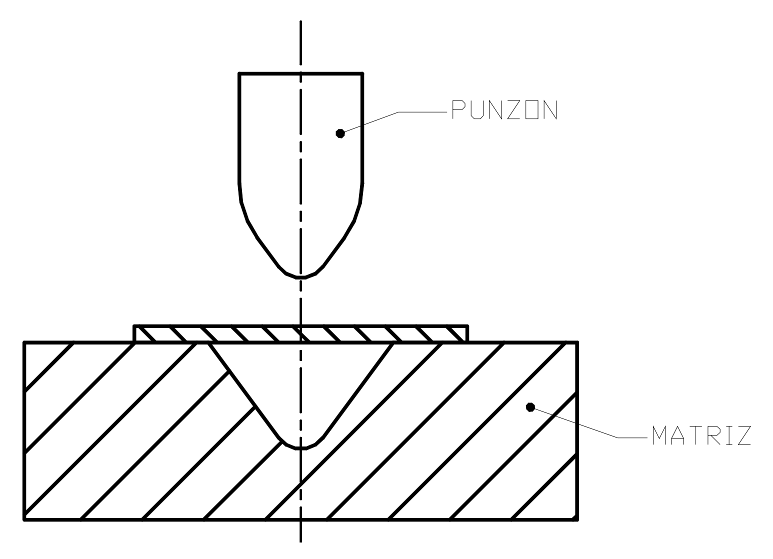


Figura 5.28.- Matriz de bloque en "V".

- ***Dados de doblez lateral (figura 5.29). En esta operación el punzón desciende y frota un lado de la pieza de trabajo sobre el filo del dado. El radio del doblez está en el filo de la matriz y no debe ser menor a los radios mínimos recomendados. Para evitar un posible daño en el metal durante el doblado hay un radio o bisel en la cara de trabajo del punzón.***

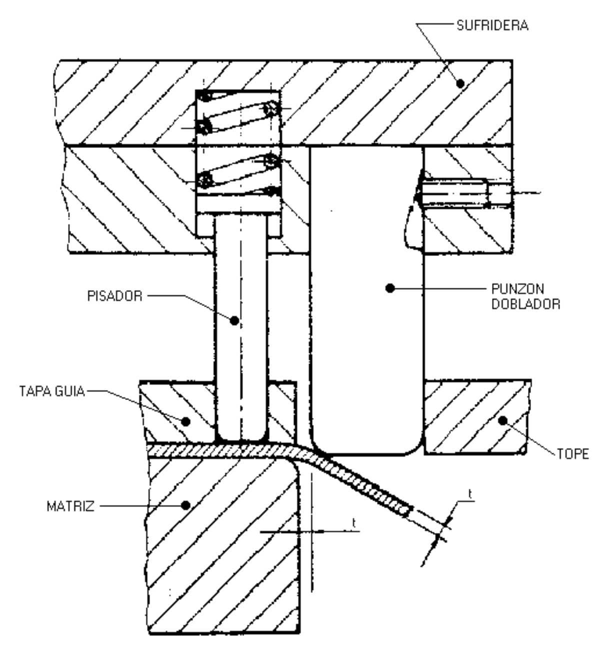


Figura 5.29.- Doblado lateral.

- ***Dados U.*** ***Las piezas con forma de U pueden doblarse en dados como el mostrado en la figura 5.30. La forma o perfil que se da en los extremos del punzón y del botador son para compensar la recuperación elástica y poder obtener así el dobles deseado. El ancho de la U se ajusta por medio de separadores y cambiando el ancho del botador. El claro lateral deberá ser un 10% mayor que el espesor disponible.***

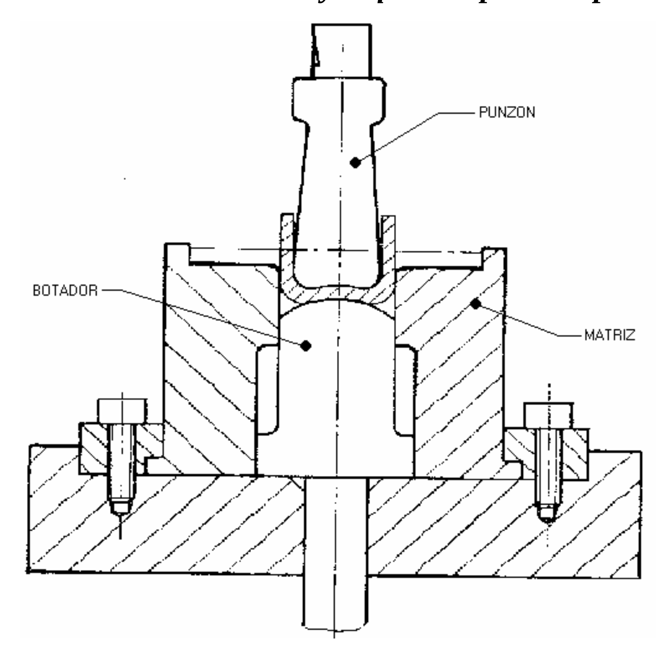


Figura 5.30.- Dado tipo "U".

5.8.- CALCULO DE LONGITUD DE PERFILES DOBLADOS.

El calculo de la longitud del perfil antes de doblar, es indispensable para proyectar un perfil: la dimensión se toma sobre la línea neutra, sumando las longitudes de las partes rectas y curvas.

Al calcular las partes curvas, que normalmente son sectores de circunferencia, se debe tomar en cuenta que la línea neutra no se encuentra en la parte media del ancho de la lamina, pues los esfuerzos que sobre ella actúan hacen variar su posición en función del espesor y calidad del material; la línea neutra se desplaza siempre hacia el interior de la curva o doblez, figura 5.31

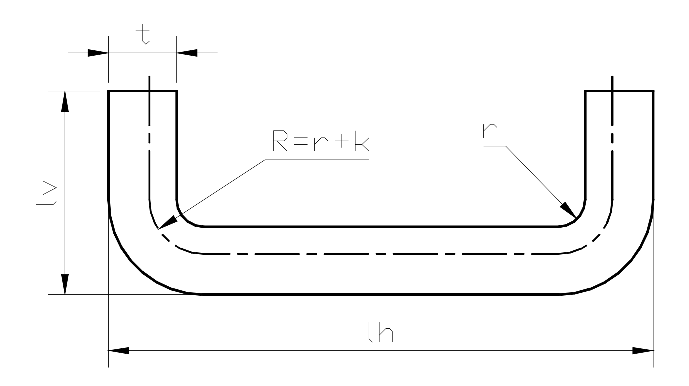


Figura 5.31.- Dimensiones de una placa doblada.

Se han establecido valores que multiplicados por el espesor de la chapa, fijan la posición de la línea neutra de las partes curvas para los distintos tipos de materiales, según se muestra en la tabla 5.6.

Tabla 5.6.- Posición de la línea neutra según su dureza.

Tipo de material	*R*
Materiales Blandos	***r + 0.35t***
Materiales Semiduros	***r + 0.40t***
Materiales Duros	***r + 0.45t***

Después de haber localizado la posición de la línea neutra, se puede calcular el desarrollo del elemento doblado, para conocer su longitud antes de doblar, por medio de la ecuación siguiente:

$$L = 2(lv - t - r) + (lh - 2t - 2r) + (\pi R) \ldots\ldots\ldots\ldots (5.8)$$

Donde:

L = Longitud antes del doblez

lv = Longitud vertical de la pieza

t = Espesor del material

r = Radio del doblez

lh = Longitud horizontal de la pieza

R = Radio de la línea neutra

5.9.- FUERZA NECESARIA PARA EL DOBLADO.

Para doblar una lamina apoyada en los extremos, la fuerza necesaria se determina teniendo en cuenta la forma o geometría del punzón y del dado, así como también el espesor, longitud, ancho y resistencia de la chapa. La fuerza máxima necesaria para completar el trabajo se puede observar en la figura 5.32.

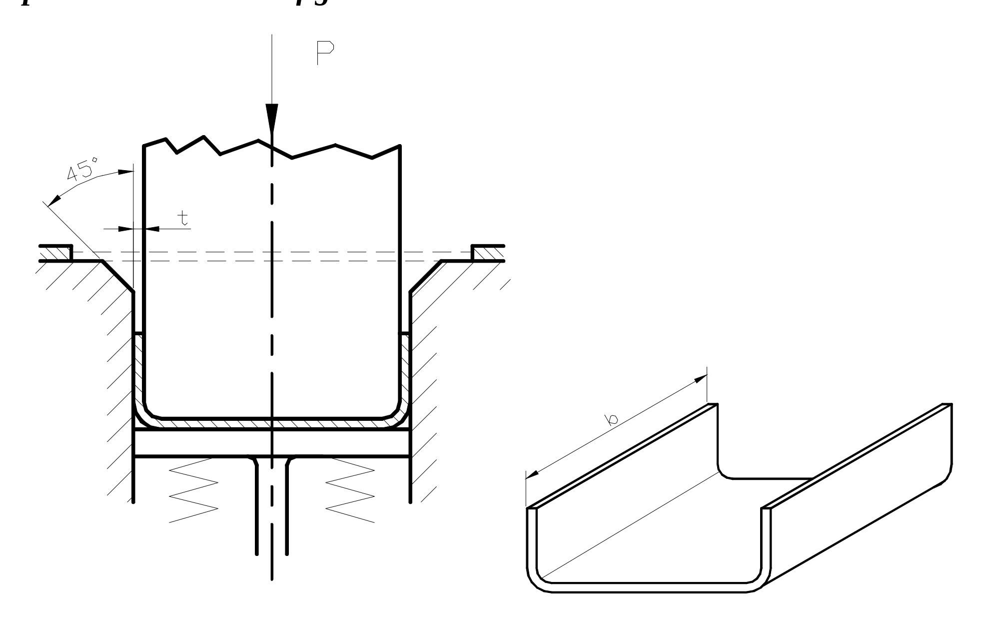


Figura 5.32.- En el momento de iniciarse el doblado, la chapa se halla apoyada por los extremos.

En efecto, el punzón después de haber hecho contacto con la lamina, hace fuerza sobre ella y obliga a sus bordes a resbalar lentamente sobre los dos planos laterales inclinados a 45º. Por tanto se puede estimar por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\sigma_f b.t}{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5.9)$$

Donde:

P = Fuerza necesaria para el doblado en kg.

σ_f = Resistencia a la fluencia en kg/mm^2 , tabla 5.7

t = Espesor de la lámina en mm.

b = Ancho de la parte en dirección del eje del doblez en mm.

Tabla 5.7.- Resistencia a la fluencia de algunos aceros.

Carbono %	*Recocido (kg/mm^2)*	*T.F. (kg/mm^2)*
0.10	*27*	*30*
0.20	*30*	*35*
0.40	*36*	*38*
0.60	*38*	*43*
0.80	*38.3*	*53.5*
0.95	*38.6*	*51*

CAPITULO 6

FORJA

6.1.- DEFINICIÓN DE FORJA

Es un método de manufactura de piezas metálicas, que consiste en la deformación plástica de un metal, ocasionada por esfuerzos impuestos sobre él, mediante martillos o prensas. En el proceso, el metal fluye en la dirección de menor resistencia, así que generalmente ocurrirá un alargamiento lateral a menos que se le contenga.

6.2.- CLASIFICACIÓN

La forja se lleva a cabo de diversas maneras. Algunas formas de clasificar las operaciones de forja es de acuerdo a:

- ***La temperatura de trabajo.***
- ***La forma en que se aplica la presión.***
- ***La restricción de las matrices al flujo del metal.***

6.2.1.- Temperatura de trabajo

Las operaciones de forja se pueden realizar en caliente o en frío. La mayoría de las operaciones de forja se realizan en caliente (por arriba y por debajo de la temperatura de recristalización), dada la deformación que demanda el proceso y la necesidad de reducir la resistencia e incrementar la ductilidad del metal de trabajo, sin embargo, la forja en frío también es muy común para ciertos productos. La ventaja de la forja en frío es la mayor resistencia del componente que resulta del endurecimiento por deformación.

6.2.2.- Forma en que se aplica la presión

En la forja se aplica la presión por impacto o en forma gradual. La diferencia depende mas del tipo de equipo que de las diferencias en la tecnología de los procesos. Una máquina de forjado que aplica cargas de impacto se llama martinete de forja, mientras la que aplica presión gradual se llama prensa de forjado.

6.2.3.- Restricción de las matrices al flujo del metal

Quizá es la clasificación más importante que se puede hacer para las operaciones de forja. Atendiendo a esta clasificación se pueden distinguir dos amplios grupos para las operaciones de forja:

a) Forja en matriz abierta.
b) Forja en matriz cerrada.

En la forja en matriz abierta el trabajo se comprime entre dos dados planos(o casi planos), permitiendo que el metal fluya sin restricciones en una dirección lateral con respecto a las superficies del dado. En la forja en matriz cerrada, las superficies del dado contienen una forma o impresión que se imparte al material de trabajo durante la compresión, restringiendo significativamente el flujo del metal. En este tipo de operación el metal fluye más allá del dado impresor formando una rebaba. La rebaba es un exceso de metal que debe recortarse más tarde.

6.3.- FORJA EN MATRIZ ABIERTA

En la forja en matriz abierta, el metal no está completamente contenido en el dado; la forja con martinete es un ejemplo característico de este método. La pieza se forma debido a rápidos y sucesivos golpes del martillo.

El caso más simple de forja en matriz abierta consiste en comprimir una parte de sección cilíndrica entre dos dados planos, muy semejante a un ensayo de la compresión. Esta operación de forjado conocida como recalcado o forjado para recalcar, reduce la altura del trabajo e incrementa su diámetro.

6.3.1.- Análisis de la forja en matriz abierta

Si la forja en matriz abierta se lleva a cabo bajo condiciones ideales, sin fricción entre el trabajo y la superficie de la matriz, ocurre una deformación homogénea y el flujo radial de material es uniforme a lo largo de su altura como se representa en la figura 6.6.

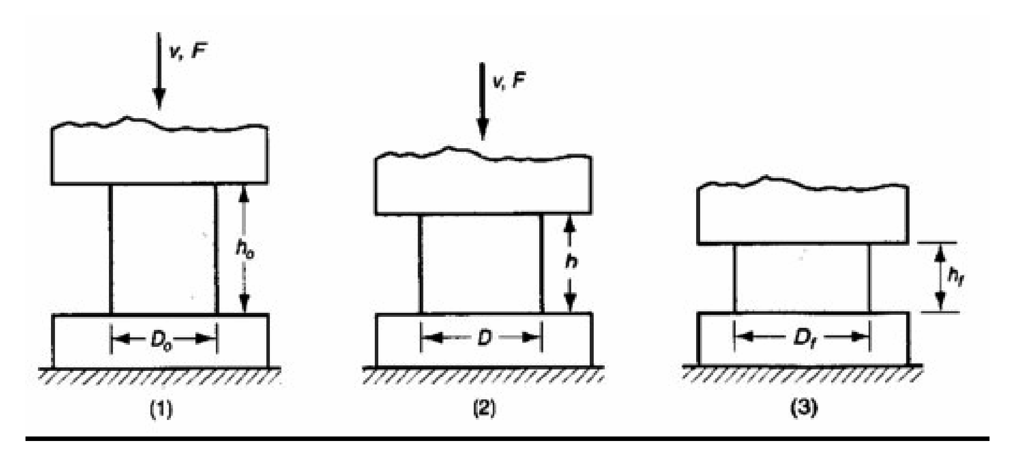


Figura 6.1 Deformación homogénea de una parte de trabajo cilíndrica bajo condiciones ideales en una operación de forjado en dado abierto: (1) inicio del proceso con la parte de trabajo a su altura y diámetro originales, (2) compresión parcial y (3) tamaño final.

Bajo condiciones ideales, la deformación real que experimenta el material durante el proceso, se puede determinar por:

$$\varepsilon = \ln \frac{h_0}{h} \quad \text{..(6.1)}$$

donde:

h_o = altura inicial del trabajo, pulg. (mm).

h = altura de un punto intermedio en el proceso pulg(mm).

Se puede obtener la fuerza requerida para continuar la compresión a una altura dada h durante el proceso, multiplicando el área correspondiente de la sección transversal por la resistencia de fluencia:

$$F = \sigma_f A \text{…………………(6.2)}$$

Donde:

F = Fuerza, lb(N).

A = Área de la sección transversal de la parte, $pulg^2(mm^2)$.

σ_f = Resistencia de fluencia correspondiente a la deformación dada por la ecuación 6.1, en $lb/pulg^2$(MPa).

El área A se incrementa continuamente al reducirse la altura durante la operación. La resistencia de fluencia σ_f se incrementa también como resultado del endurecimiento por

trabajo, excepto cuando el metal es perfectamente plástico(trabajo en caliente). En este caso, el exponente de endurecimiento por deformación n = 0, y la resistencia de fluencia σ_f iguala a la resistencia de fluencia del metal Y. La fuerza alcanza un valor máximo al final de la carrera de forjado donde el área y la resistencia de fluencia llegan a su valor más alto.

Una operación real de recalcado no ocurre exactamente como se muestra en la figura 6.1, debido a que la fricción se opone al flujo del metal en la superficie de los dados. Esto crea un abultamiento en forma de barril, llamado abarrilamiento, que se muestra en la figura 6.2. Cuando se realiza un trabajo en caliente con dados fríos, el abarrilamiento es mas pronunciado. Esto se debe a: 1) un coeficiente de fricción más alto, típico del trabajo en caliente y 2) la transferencia de calor en la superficie del dado y sus cercanías, lo cual enfría el metal y aumenta su resistencia a la deformación. El metal más caliente se encuentra en medio de la parte y fluye más fácilmente que el metal más frío de los extremos. El efecto se acentúa al aumentar la relación entre el diámetro y la altura de la parte, debido a la mayor área de contacto en la interfase dado-trabajo.

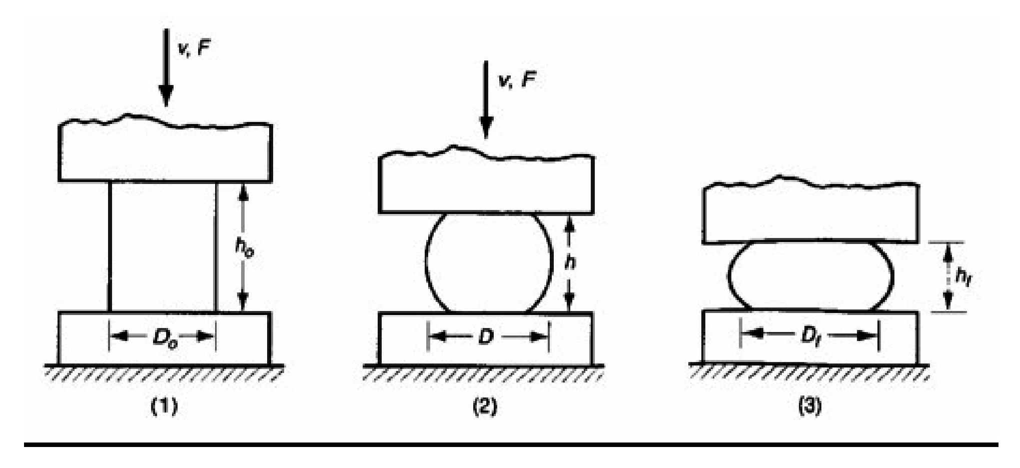


Figura 6.2 Deformación cilíndrica real de una parte de trabajo en forjado en dado abierto mostrando un abarrilamiento pronunciado: (1) inicio del proceso, (2) deformación parcial y (3) forma final.

Todos estos factores originan que la fuerza de recalcado sea más grande que la pronosticada por la ecuación 6.2. Se puede aplicar un factor de forma a la ecuación 6.2 para aproximar los efectos de la fricción y la relación entre el diámetro y la altura:

$$F = K_f \sigma_f A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(6.3)$$

Donde:

F, σ_f y A tienen las mismas definiciones que en la ecuación 6.6.

K_f = Factor de forma de la forja, definido como:

$$Kf = 1 + \frac{0.4\mu.}{h} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.(6.4)$$

Donde:

μ = Coeficiente de fricción.

D = Diámetro de la parte de trabajo o cualquier dimensión que represente la longitud de contacto con la superficie, pulg. (mm).

h = Altura de la parte, pulg. (mm).

6.3.2.- Aplicaciones de la forja en matriz abierta

La forja en matriz abierta es un proceso industrial importante. Las formas generadas por operaciones en matriz abierta son simples, como flechas, discos y anillos. Los dados en algunas aplicaciones tienen superficies con ligeros contornos que ayudan a formar el material de trabajo. Éste, además, debe manipularse frecuentemente(girándolo en cada paso, por ejemplo) para efectuar los cambios de forma requeridos. La habilidad del operador es un factor importante para el éxito de estas operaciones. Un ejemplo de forjado en dado abierto en la industria del acero es el formado de grandes lingotes cuadrados para convertirlos en secciones redondas. Las operaciones de forja en dado abierto producen formas rudimentarias que necesitan operaciones posteriores para refinar las partes a sus dimensiones y geometría final. Una contribución importante de la forja en caliente en dado abierto es la creación de un flujo de granos y de una estructura metalúrgica favorables en el metal.

Las operaciones clasificadas en la categoría de dado abierto son operaciones relacionadas y pueden realizarse con dados convexos, con dados cóncavos y por secciones, como se ilustran en la figura 6.3.

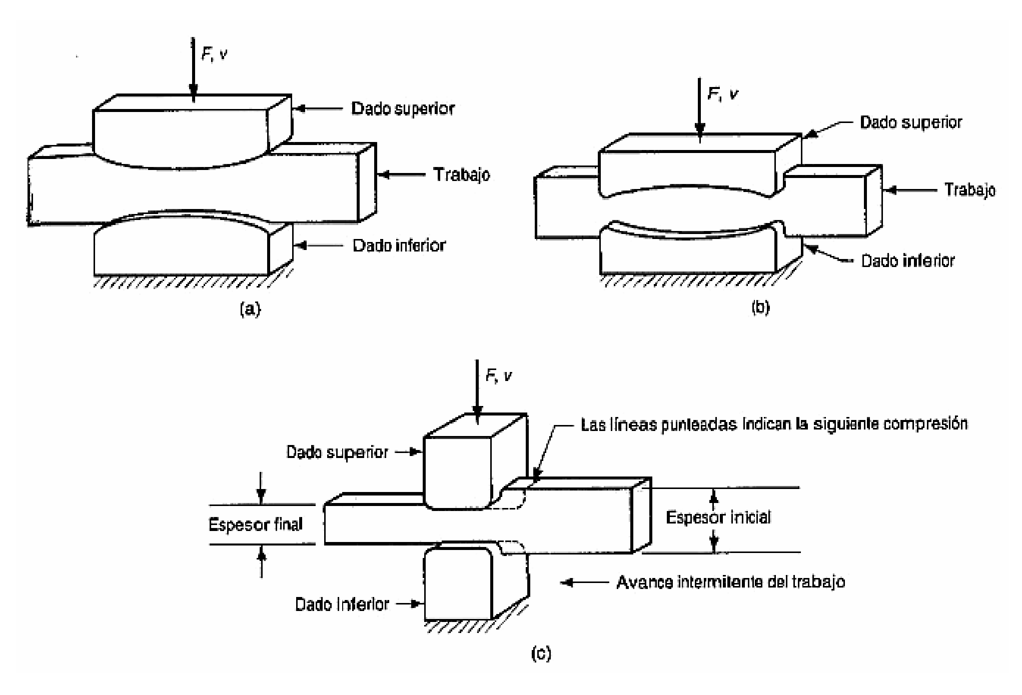


Figura 6.3.- Varias operaciones de forjado en dado abierto: (a) con dados convexos, (b) con dados cóncavos y (c) por secciones.

La forja con dados convexos es una operación que se utiliza para reducir la sección transversal y redistribuir el metal en una parte de trabajo, como preparación para operaciones posteriores de formado con forja. Se realiza con dados de superficies convexas. Las cavidades del dado para forjado con dados convexos se diseñan frecuentemente con múltiples cavidades de impresión de manera que la barra inicial pueda formarse toscamente antes del formado final. La forja con dados cóncavos es similar al anterior, excepto que los dados tienen superficies cóncavas.

Una operación de forjado por secciones consiste en una secuencia de compresiones forjadas a lo largo de una pieza de trabajo para reducir su sección transversal e incrementar su longitud. Se usa en la industria siderúrgica para producir lupias y planchas a partir de lingotes fundidos, en la operación se utilizan dados abiertos con superficies planas o con un ligero contorno. Con frecuencia se usa el término forja incremental para este proceso.

6.4.- FORJA EN MATRIZ CERRADA

En una variante del proceso la forma se obtiene llenando la cavidad definida por las mitades superior e inferior de la matriz. Se permite que el exceso de material escape en forma de rebaba; como la matriz no está por completo cerrada, se llama adecuadamente matriz de impresión. No obstante, también se aplica el término matriz cerrada.

6.4.1.- Secuencia de forjado

La pieza de trabajo inicial se muestra como una parte cilíndrica similar a las de las operaciones en dado abierto. Al cerrarse el dado y llegar a su posición final, el metal fluye más allá de la cavidad del dado y forma una rebaba en la pequeña abertura entre las placas del dado, como se ilustra en la figura 6.4.

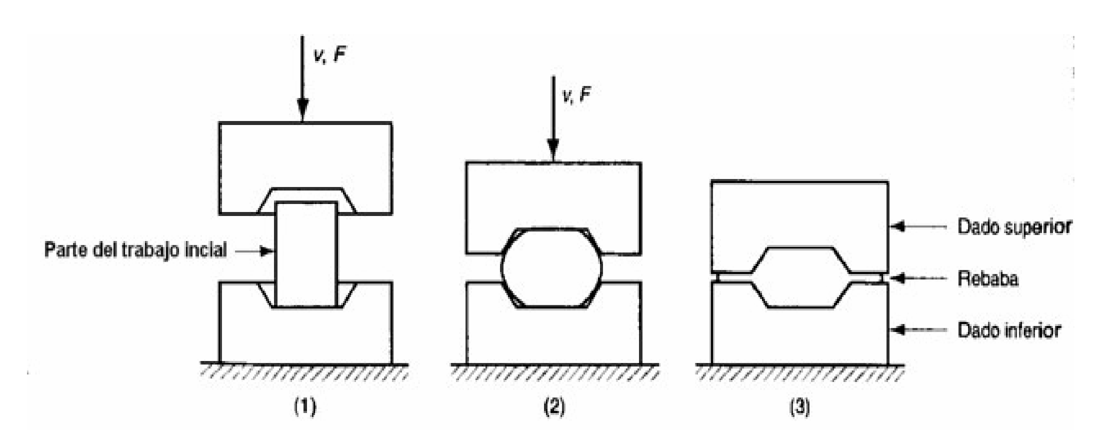


Figura 6.4 Secuencia en el forjado con matriz cerrada: (1) inmediatamente antes del contacto inicial con la pieza de trabajo en bruto, (2) compresión parcial y (3) cerradura final de los dados, ocasionando la formación de rebaba entre las placas del dado.

Aunque la rebaba se recorta posteriormente, tiene realmente una función importante en la forja con dado cerrado, ya que cuando ésta empieza a formarse, la fricción se opone a que el metal siga fluyendo hacia la abertura, y de esta manera fuerza al material de trabajo a permanecer en la cavidad. En el formado en caliente, la restricción del flujo de metal es mayor debido a que la rebaba delgada se enfría rápidamente contra las placas del dado, incrementando la resistencia a la deformación. La restricción del flujo de metal en la abertura hace que las presiones de compresión se incrementen significativamente, forzando al material a llenar los detalles algunas veces intrincados de la cavidad del dado, con esto se obtiene un producto de alta calidad.

Con frecuencia se requieren varios pasos de formado en el forjado con dado cerrado para transformar el material de inicio en la forma final deseada. Para cada paso se necesitan cavidades separadas. Los pasos iniciales se diseñan para redistribuir el metal en la parte de trabajo y conseguir así una deformación uniforme y la estructura metálica requerida en las etapas siguientes. Los últimos pasos le dan el acabado a la pieza final. En la figura 6.5 se muestra un dado con varios pasos de formado y la pieza producida mediante el mismo.

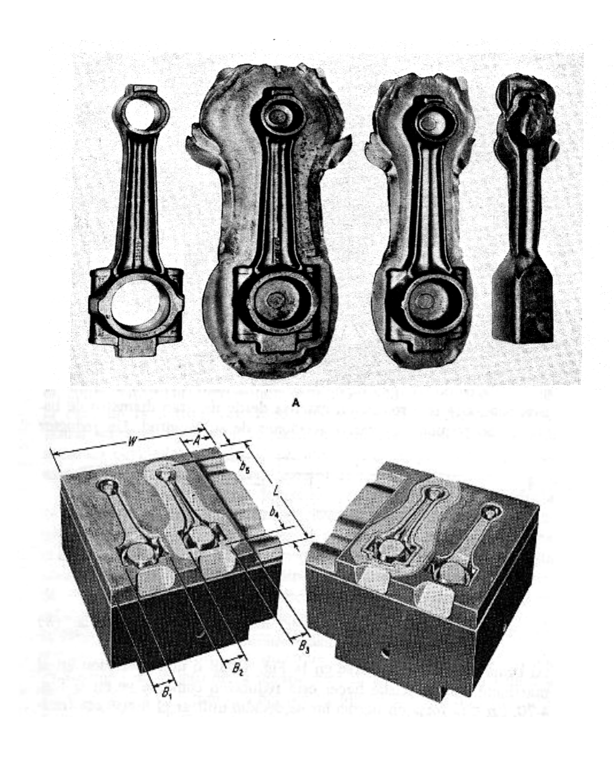


Figura 6.5 Matriz de varios pasos

6.4.2.- Aplicaciones de la forja en matriz cerrada

Los mejoramientos de la tecnología de la forja con dado cerrado han tenido como resultado la capacidad de producir forjados con secciones más delgadas, formas más complejas, reducción drástica de los requerimientos de aguzamiento en los dados, tolerancias más estrechas y la virtual eliminación de concesiones al maquinado, en la figura 6.6 se muestra la diversidad de piezas que se pueden producir mediante forja con dado cerrado.



Figura 6.6 Aplicaciones de la forja en matriz cerrada.

Los procesos de forjado con estas características se conocen como forjado de precisión. Los metales más comunes que se usan en la forja de precisión son el aluminio y el titanio. Algunas operaciones de forjado de precisión se realizan sin producir rebaba. La forja de precisión se clasifica propiamente como un proceso de forma neta o casi neta, dependiendo de la necesidad del maquinado para acabar la forma de la parte.

6.5.- COMPARACIÓN CON OTROS PROCESOS

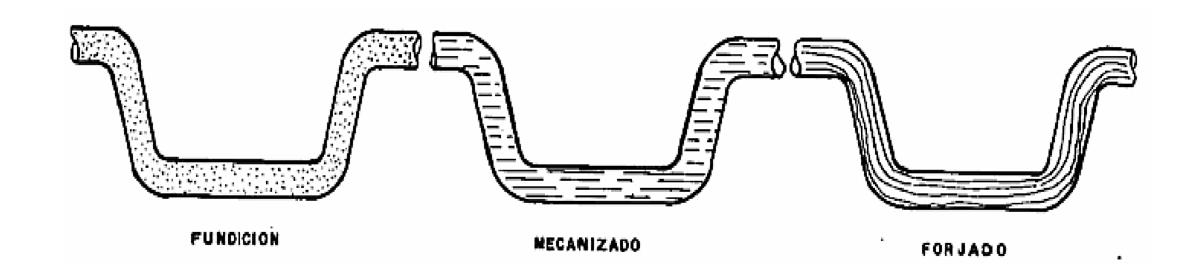


Figura 6.7 Comparación esquemática de la disposición de la estructura granular en función del proceso

Las ventajas de la forja sobre la fundición son:

- ***La deformación plástica elimina defectos internos.***
- ***Mejor respuesta al tratamiento térmico.***
- ***Adaptable a la demanda.***
- ***Mayor resistencia.***

Las ventajas sobre la soldadura son:

- ***Producción más económica.***
- ***Mayor resistencia y propiedades metalúrgicas.***
- ***Producción simplificada.***
- ***Ahorro de material.***

Las desventajas con respecto a todos estos procesos son:

- ***Debe precalentarse el material.***
- ***El diseño de los dados o estampas debe realizarse con cuidado.***
- ***No es económico para la producción en cantidades pequeñas.***
- ***La maquinaria es costosa.***

6.6.- METALES UTILIZADOS PARA LA FORJA EN CALIENTE

El trabajo en caliente de los metales, se efectúa arriba de la zona de recristalización. Para el acero, la recristalizacion comienza entre los 500 a los 700 °C; sin embargo se le trabaja a temperaturas superiores a esta zona. Algunos metales como el plomo y el estaño, tienen una zona baja de recristalizacion y se les puede trabajar en caliente o a la temperatura ambiente. Los metales que comúnmente se emplean en este proceso se muestran en la tabla 6.1 con su gama de temperaturas aproximadas de trabajo.

Tabla 6.1 Metales empleados en la forja en caliente

MATERIAL	*TEMPERATURA APROXIMADA EN °C*	*FACILIDAD DE FORJADO*
Acero	*1100 - 1260*	*1 a 2*
Cobre y sus aleaciones	*760 – 930*	*3*
Magnesio y sus aleaciones	*316*	*4*
Aluminio y sus aleaciones	*370 – 454*	*5*

La facilidad de forjado se refiere a la resistencia a la deformación del material y va del 1 (mayor facilidad) al 5 (menor facilidad).

6.7.- EQUIPO PARA FORJA

El equipo que se usa en el proceso de forjado consiste en máquinas de forja, que se clasifican en:

- ***Martinetes*** } Máquinas de compresión
- ***Prensas*** }
- ***Dados de forjado***
- ***Herramientas especiales (Hornos, dispositivos mecánicos, estaciones de recorte)***

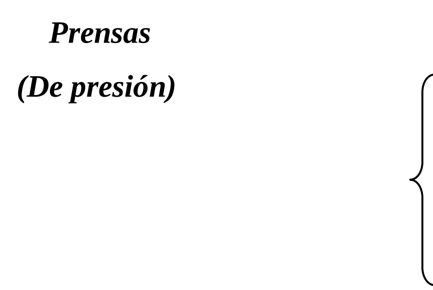
6.7.1.- Maquinas de compresión

Las máquinas de compresión utilizadas para la forja se pueden dividir en dos grupos: las que trabajan por impacto(martinetes) y las que trabajan por presión(prensas), en la tabla 6.2 se muestra una clasificación más amplia.

Tabla 6.2.- Maquinas de compresión utilizadas para la forja

Martillos (De impacto)
- Martillo de caída libre
  - Elevado por tablas o correas
  - Elevado neumáticamente
- Martillo de caída con potencia
  - Caída activada de doble efecto
  - Caída activada de contragolpe

- ***Mecánicas***
  - ***Excéntricas(Biela-manivela, articulaciones, etc.)***
  - ***De tornillo***
- ***Hidráulicas***
  - ***Impulso directo***
  - ***Impulso acumulado***



6.7.2.- Martillos

Su función es conformar el metal en caliente por medio de golpes sucesivos, producidos por la caída de un ariete, es decir, forma el material por medio de impactos, y se clasifican en la forma siguiente:

Martillo de caída libre elevado por tablas o correas.- En el primer caso consta de una tabla unida al ariete y colocada entre dos rodillos, uno de los cuales esta girando impulsado por un motor, como se ve en la figura 6.8.

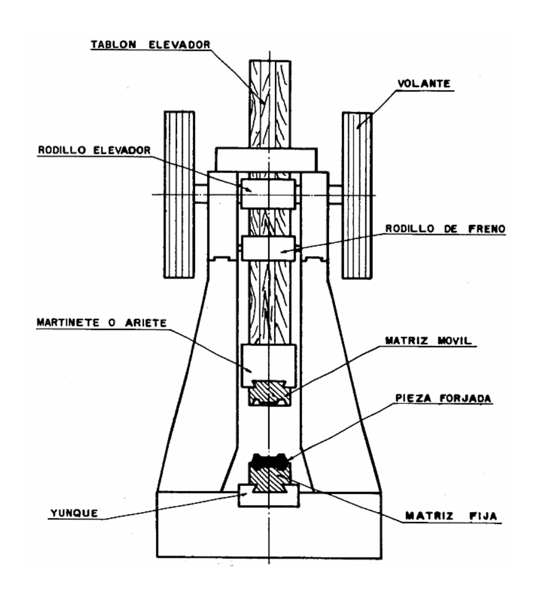


Figura 6.8 Martillo de caída libre elevado por tablas

Cuando el ariete llega hasta el punto mas bajo de su carrera, el rodillo inmóvil prensa la tabla contra el móvil que por fricción eleva la tabla hasta una posición superior. Al llegar a esta posición, los rodillos se abren y una grapa se cierra, deteniendo la tabla hasta que se acciona un pedal y la deja caer de nuevo. La fuerza del impacto depende completamente del peso del ariete; los pesos más utilizados van de 227 a 2720 kg.

Los martillos elevados por correas son similares a los elevados por tablas, la diferencia básica es que en lugar de éstas, el ariete se eleva mediante correas que se enrollan por un motor situado en la parte superior.

Estos martillos tiene un peso de caída de 200 a 5000 kg; las medidas estándar fluctúan entre 500 y 2500 kg, en incrementos de 250 y 500 kg. La altura de caída del ariete varía con la medida del martillo, cambiando de 870 mm para un martillo de 200 kg hasta cerca de 1900 mm para uno de 3750 kg. La altura de caída y, por consiguiente, la fuerza de golpe del martillo, es aproximadamente constante para cierto trabajo y no puede alterarse sin parar la máquina y ajustar la longitud de caída.

Martillo de caída libre elevado neumáticamente.- Es un martillo que deriva su fuerza de impacto de un martinete de caída libre. Sin embargo, se eleva mediante un cilindro de aire como se ve en la figura 6.9. Esto hace posible que la carrera sea rápida, sólo necesita mantenimiento en algunas de sus partes y permite seleccionar la longitud de la carrera. Los martillos neumáticos pueden realizar de 50 a 75 carreras por minuto, dependiendo de su tamaño.

Ofrecen la ventaja de una velocidad mayor, fácil manejo y, por tanto, un mayor rendimiento. También pueden estar provistos de un mecanismo automático por medio del cual, se obtiene la automatización en la subida y bajada del ariete.

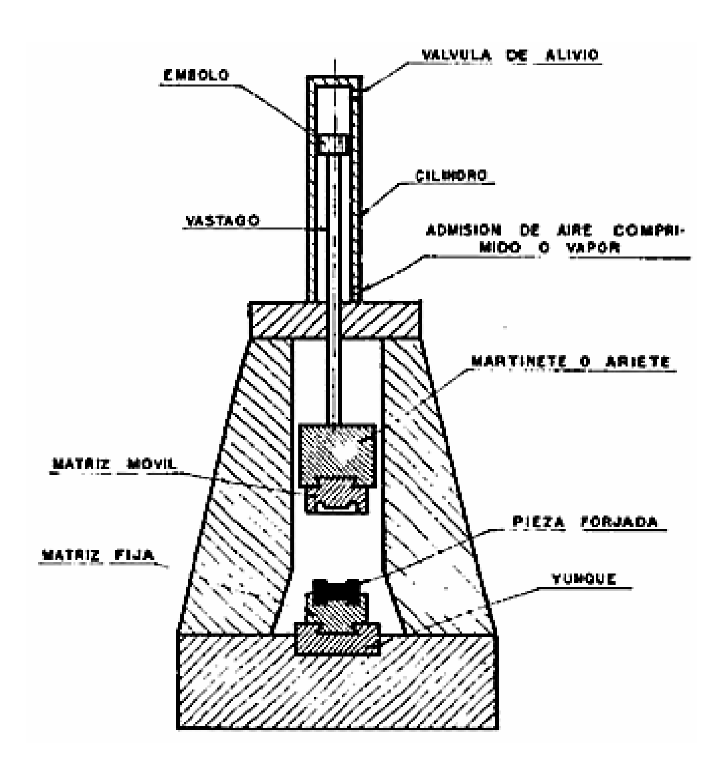


Figura 6.9- Martinete neumático(impacto por gravedad)

Martillos de caída con potencia.- En estos martillos la energía de golpe es la suma de la energía proporcionada por el peso del ariete o pilón, más la energía que se imprime a éste por algún medio. Se clasifican en martillos de doble efecto y de contragolpe.

Martillos de caída activada de doble efecto.- Son el tipo de máquina de uso general para la producción de forja en matriz cerrada por impacto. Consiste de una base pesada que soporta los dos miembros del bastidor o armazón que guían con precisión el movimiento del ariete; el armazón soporta también un cilindro de aire que a través de un pistón y un vástago activa el ariete, en la figura 6.10 se muestra un martillo de este tipo. En la cara inferior del ariete va situado el dado superior. El dado inferior, está sujeto a la base o yunque que se encuentra firmemente acuñado a la misma. El movimiento del pistón se controla mediante una válvula que admite aire a la parte superior o inferior del pistón. Esta válvula se controla con un pedal o una palanca de mano.

Los pesos para estos martillos son comunes entre los 300 y 1600 kg, y ocasionalmente llegan hasta los 25 000 kg. La gran masa de este tipo de martillos no está a la vista, ya que

está bajo el piso. Un martillo de 25000 kg posee una base acero cuyo peso alcanza el medio millón de kilogramos. El ariete, el pistón y su vástago tendrán un peso agregado de 20000 kg aproximadamente. La velocidad del pistón durante la bajada sobrepasa en ocasiones los 7.5 m/s.

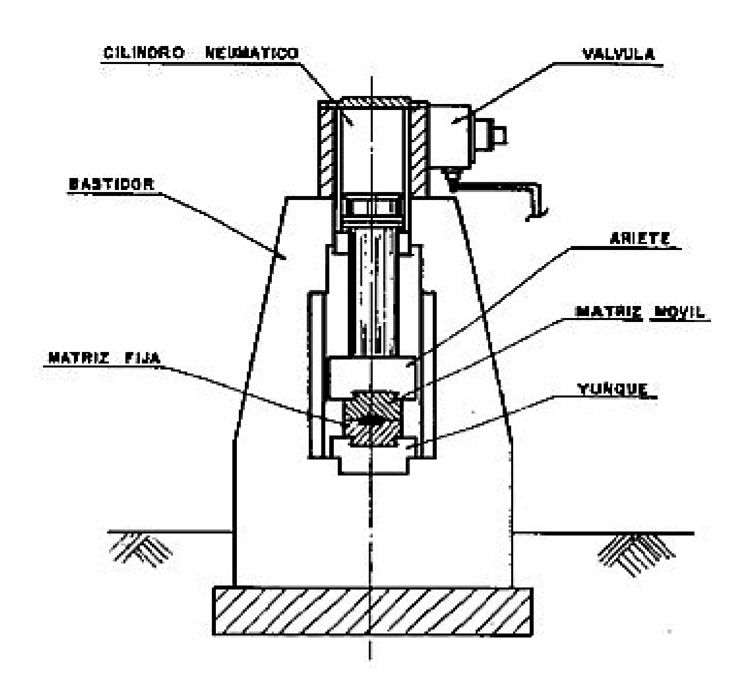


Figura 6.10 Martillo de caída activada de doble efecto

Aunque estos martillos son muy útiles, disipan en la base y los cimientos de un 15 a un 25% de la energía cinética desarrollada en el ariete. La energía transmitida impone un gran esfuerzo a la base, pudiendo romperla o causar daños en las instalaciones vecinas.

Martillo de caída activada de contragolpe.- Desarrollan la fuerza de golpe por el movimiento de dos arietes que simultáneamente se encuentran en direcciones opuestas y se encuentran en el centro. Estos martillos admiten vapor en un cilindro superior que acciona hacia abajo el ariete, al mismo tiempo los pistones conectados al ariete superior actúan a través de un sistema hidráulico para que el ariete inferior suba, en la figura 6.11 se muestra el martillo de contragolpe.

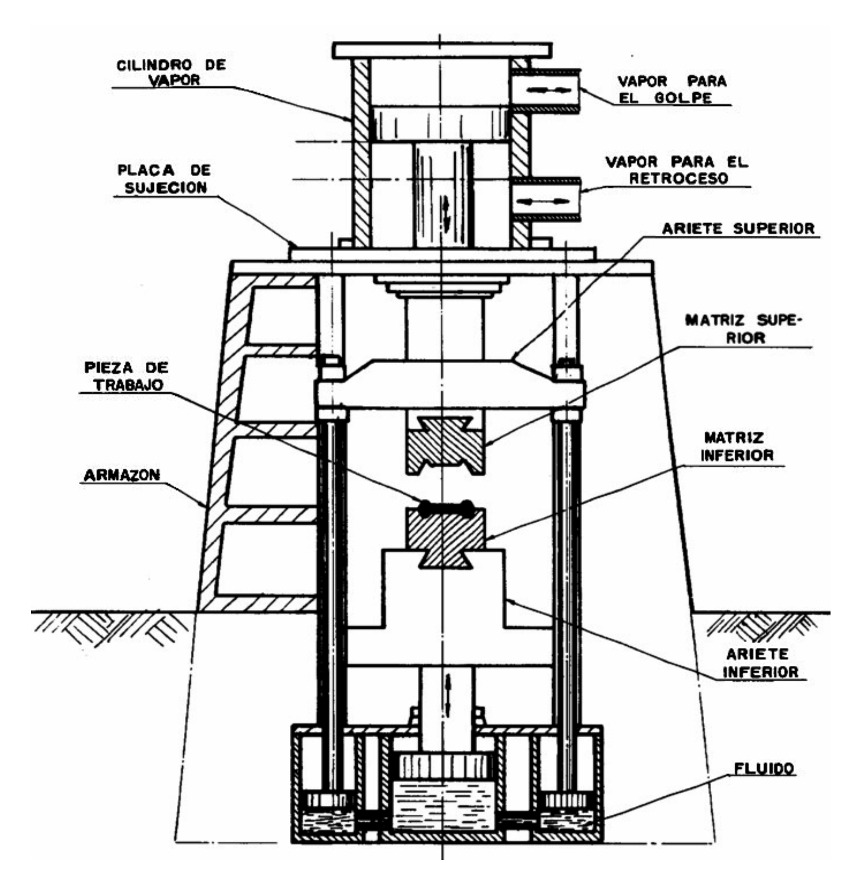


Figura 6.11 Martillo de caída activada de contragolpe

Debido a que el peso del ariete inferior y su pistón son mayores a los superiores, los arietes regresan automáticamente después del golpe. La velocidad de regreso se incrementa por la presión del vapor que actúa sobre el pistón.

6.7.3.- Prensas

Funcionan en posición vertical al igual que el martinete, pero en lugar de impacto, imparten presión sobre la pieza. Generalmente tienen una maza o carro que se mueve en dirección vertical para presionar la pieza y llevar a cabo la deformación en contraste con los martillos, cuya característica es el golpeo repetitivo. A diferencia de los martillos, la energía es absorbida por la pieza de trabajo en un porcentaje mucho mayor, y las pérdidas se distribuyen por el bastidor en lugar de ir a la cimentación.

Estas prensas pueden costar dos veces más que un martillo de la misma capacidad, no obstante, son lo doble de rápidas. Pueden hacer lo mismo que un martillo, aunque a veces,

debido a su acción de compresión, hacen mejor el trabajo con metales difíciles de forjar. Estas maquinas se clasifican en:

Prensas mecánicas.- Constan de un bastidor o armazón que contiene en su base la fijación a los cimientos(mucho menos robustos que en los martillos), y el asiento del lado inferior.

Prensas mecánicas excéntricas.- El impulso en la mayoría de estas máquinas, se basa en el mecanismo biela-manivela que transfiere movimiento circular en reciprocante, como en el motor de combustión interna. Un volante, como el que se ve en la figura 6.12, acumula energía que se usa sólo durante una pequeña parte de la revolución del eje excéntrico, o sea durante la deformación.

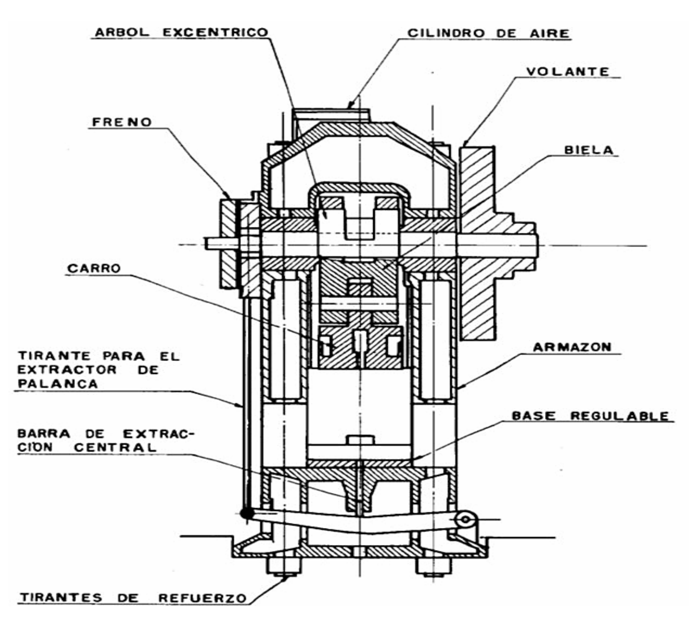


Figura 6.12 Prensa mecánica excéntrica

Prensas mecánicas de tornillo.- Al igual que los martillos y las prensas excéntricas, son máquinas ampliamente usadas en la industria de la forja. Se componen de un armazón de una sola pieza de acero fundido, que en su parte superior lleva un eje horizontal que contiene las ruedas de fricción accionadas por un motor eléctrico, en la figura 6.13 se muestra una prensa de este tipo.

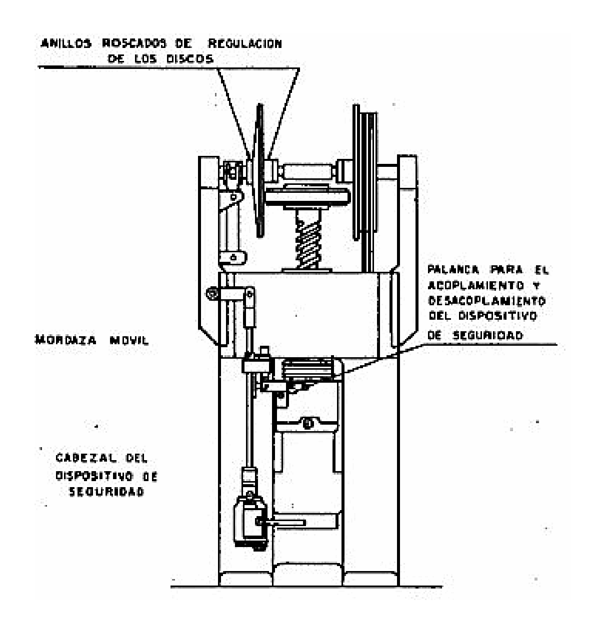


Figura 6.13 Prensa mecánica de tornillo

Perpendicularmente a las ruedas de fricción se encuentra localizado el volante de acero fundido, conectado a las mismas por un sistema de embrague controlado por un servomotor.

Cuando se accionan los controles, la rueda de fricción acelera el volante que tiene conectado a su vez el tornillo, fabricado de acero al molibdeno. El tornillo tiene acoplado en su parte inferior la maza que se acelera conforme va bajando, mientras que la energía cinética del volante continúa incrementándose.

Cuando la maza golpea la pieza, la carga necesaria de forjado se refuerza y se transmite a través de ésta, el tornillo y el yunque, a la armazón de la prensa.

Cuando toda la energía acumulada en el volante se ha usado en deformar la pieza y en deformaciones elásticas de la máquina, las piezas móviles se paran. En este momento, o un instante antes, el servomotor activa el eje horizontal y presiona la otra rueda de fricción contra el volante, que junto con el tornillo se aceleran en dirección inversa y la maza es subida hasta su posición superior, terminándose así el ciclo.

Prensas hidráulicas.- Se clasifican en prensas de impulso directo, impulso acumulado y electro-óleo hidráulicas, en la figura 6.14 se muestra un ejemplar de una prensa hidráulica.

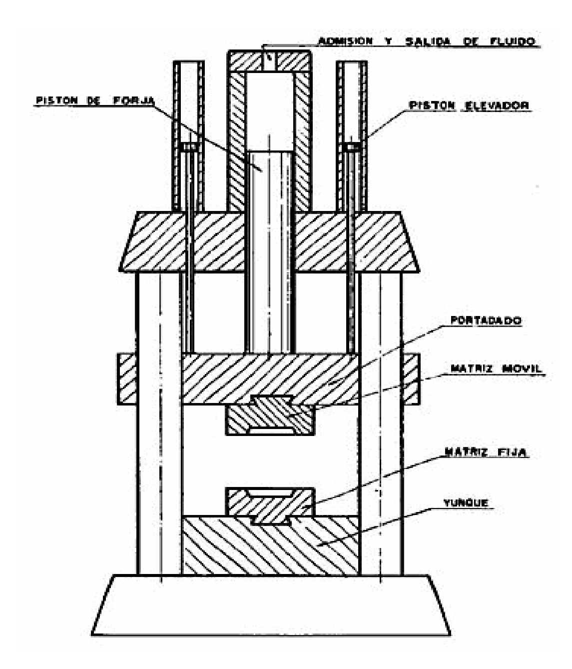


Figura 6.14 Prensa hidráulica vertical

Las características que corresponden a estas máquinas son:

- ***Ya que la carga máxima se tiene durante el golpe, existe gran cantidad de energía para la deformación.***
- ***Dentro de la capacidad de las prensas hidráulicas, la carga máxima puede ser limitada para proteger la herramienta. En este caso, no es posible exceder este límite de carga, ya que la válvula de presión controla la presión del fluido actuando sobre el ariete.***
- ***La velocidad del ariete puede variarse continuamente según se quiera durante el ciclo de golpeo.***

Prensas hidráulicas de impulso directo.- Contienen aceite como medio de trabajo. El ariete superior cae por gravedad y el aceite es trasladado del tanque hacia el cilindro de la maza a través de la succión de esta caída libre, en prensas horizontales la maza se mueve con poca presión. En contacto con la pieza, la bomba sube la presión en el cilindro de la maza. Cuando la maza superior alcanza una posición determinada, o cuando la presión llega a un límite preestablecido, el fluido es liberado y retorna a la maza. La principal ventaja de las prensas horizontales es que se aprovecha mejor la energía del impacto, ya que las dos mazas se desplazan, como se ve en la figura 6.15, además no requieren cimentación especial.

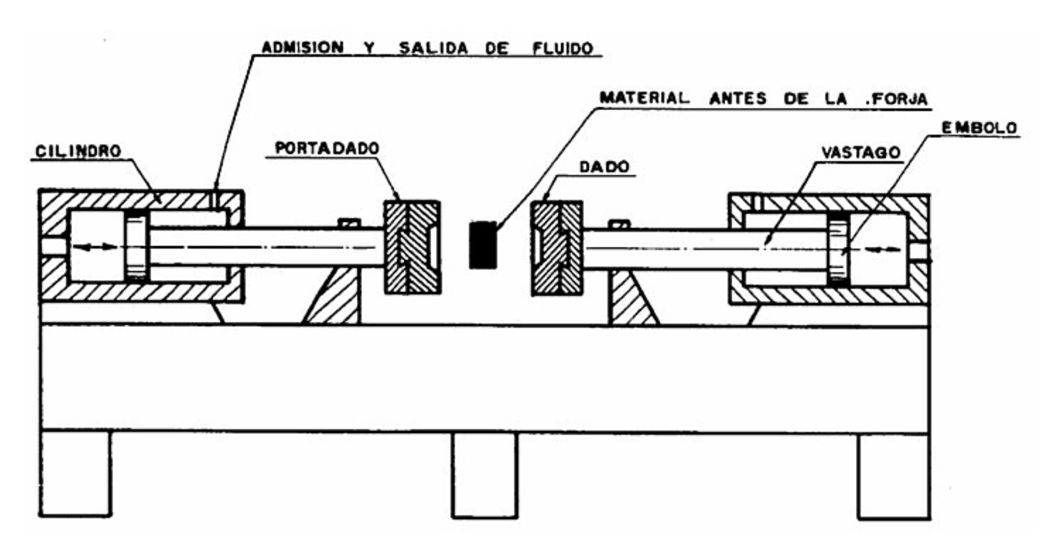


Figura 6.15 Forja con prensa horizontal

Prensas hidráulicas de impulso acumulado. ***Normalmente tienen una emulsión de agua con aceite como medio de trabajo, usan acumuladores cargados de nitrógeno o aire para mantener el medio bajo presión. La secuencia de operaciones es similar a la de impulso directo, excepto que la presión se eleva por medio de los acumuladores.***

Por consiguiente, el margen de penetración no depende directamente de las características de la bomba y puede variar dependiendo de la presión del acumulador, de la compresibilidad del medio y de la resistencia a la deformación de la pieza. Hacia el final del golpe, la carga disponible de la maza disminuye porque el medio de trabajo se expande conforme la deformación progresa.

Prensas electro-oleohidráulicas.- ***Sus características principales son: El bastidor de la prensa, compuesto de tablero, montantes y cabezal está unido en forma de marco rígido, mediante tirantes pretensados. El cabezal sirve a la vez como depósito de aceite, además todo el accionamiento hidráulico se halla por completo montado en él.***

Debido a su construcción compacta, la máquina necesita poco espacio. La maza de la prensa se acciona por medio de una bomba de émbolo axial, con dirección de caudal variable o constante. La bomba está directamente acoplada a un motor especial. La inversión de

marcha de la prensa en el punto inferior es iniciada por una corredera de mando, mientras que en el punto superior, para retener la maza se realiza el regreso desconectando la bomba a través de la corredera. Este sistema da breves tiempos de inversión a la vez que una carga reducida para la bomba. Se obtiene también un cambio de dirección exacto, libre de retraso, a la vez que una gran duración de todo el accionamiento hidráulico.

6.7.4.- Ventajas y desventajas

A continuación se resumen las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de martillos y prensas, ya mencionados.

Martillos de caída libre

- ***Son máquinas de capacidad restringida, simples, de bajo costo y se usan para forjas que sólo pesan unos cuantos kilogramos.***
- ***La altura de caída y, por tanto, la fuerza de golpe es constante; si se quiere variar, se debe parar la máquina y ajustarla.***
- ***Poseen bastante exactitud en cuanto al movimiento del ariete.***
- ***No requieren gran inversión en equipos auxiliares.***

Martillos de caída activada

- ***La cantidad de energía está bajo el control del operador, ya que puede variar la altura de caída de cualquier golpe.***
- ***Poseen bastante exactitud en cuanto al movimiento del ariete.***
- ***Menor altura de recorrido, por lo tanto, funcionamiento más rápido, lo que proporciona un mayor número de golpes por minuto.***
- ***Gastos de operación mayores e inversiones en equipos auxiliares.***

- ***Ya que es más importante la cantidad de trabajo desarrollado por minuto que por golpe, poseen mejor rendimiento debido a su funcionamiento más rápido.***

Martillos de contragolpe

- ***Dan gran rendimiento, ya que el trabajo desarrollado en el choque de los dos arietes se absorbe casi totalmente por pieza, habiendo pocas pérdidas en la cimentación.***
- ***La cimentación resiente vibraciones mínimas, pudiendo construirse con un volumen 15% menor a los de otros tipos.***
- ***El juego de los dos arietes al sumarse repercute en la precisión de las estampas.***
- ***Como los dos arietes se mueven al mismo tiempo, la pieza no se puede acompañar por el operario para un forjado preciso.***

Prensas mecánicas excéntricas

- ***Se encuentran en capacidades de 300 a 8000 ton.***
- ***Desarrollan su fuerza máxima al final del golpe, con la que se obtiene una excelente precisión en el forjado de configuración difícil.***
- ***Dan un gran numero de golpes por minuto.***
- ***No requieren de personal muy especializado.***
- ***Se puede automatizar el proceso.***

Prensas de fricción de tornillo

- ***No tienen un punto muerto inferior definido, con lo que se pueden repetir golpes sobre la misma estampa para obtener mayor precisión.***
- ***Son máquinas ideales para operaciones de acuñación, estampado en caliente de aleaciones ligeras, y como máquinas complementarias del proceso de electrorrecalcado.***

Prensas hidráulicas

- ***Desarrollan su fuerza máxima, tan pronto como los dados tocan la pieza de trabajo, continuando durante todo el proceso.***
- ***Son la máquinas de forjado más lentas y, por tanto, el tiempo de contacto bajo carga es mayor y desgasta más los dados.***
- ***Son empleadas generalmente en forja libre y punzonado.***

6.8.- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El proceso de forja aporta beneficios para las piezas producidas por este método de manufactura, entre otras cosas elimina defectos internos, mejora las propiedades mecánicas y ahorra tiempo y dinero. Sus características técnicas más sobresalientes se enumeran a continuación.

1) *Integridad estructural. La forja elimina las bolsas de gas internas y otras inclusiones del metal, que podrían causar fallas no predecibles en piezas sometidas a esfuerzos o impactos elevados.*
2) *Alta resistencia y tenacidad. Mediante la orientación adecuadas de las fibras del metal, la forja desarrolla la máxima resistencia posible al impacto y a la fatiga, dando además a la pieza la ductilidad necesaria para resistir fallas bajo impactos inesperados. En la figura 6.16 se muestra la orientación del flujo de grano para una pieza de metal forjado.*

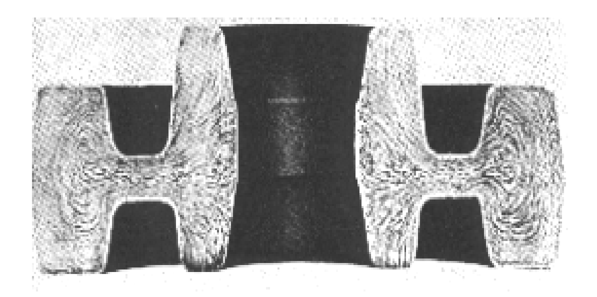


Figura 6.16 Configuración de las líneas de grano

3) *Facilidad de configuración. Muchas de las piezas forjadas se pueden producir aproximadamente a la configuración final estipulada, reduciéndose a un mínimo la necesidad de un maquinado posterior.*
4) *Uniformidad de las piezas. Es posible obtener piezas que exhiban una amplia gama de propiedades fisicomecánicas, dependiendo de los materiales, aleaciones y tratamientos térmicos.*
5) *Ahorro de peso. La alta resistencia que puede ser desarrollada en las forjas por la adecuada orientación del flujo de fibras, refinamiento de la estructura*

cristalina y tratamiento térmico, les permite tener en muchas ocasiones un peso más reducido que las piezas fabricadas con otros procesos.

6) ***Economía.*** ***Mediante la forja, se pueden producir piezas de configuración geométrica muy complicada, que en otro caso se tendrían que elaborar mediante el ensamble de varias partes. Esto permite obtener un considerable ahorro en la producción al evitar costosas uniones de soldaduras, remaches, etc.***

6.9.- PROCESO DE FORJA EN CALIENTE

El proceso de forja no es tan sencillo de realizar debido a que el metal aun se encuentra en estado sólido y por lo tanto no fluye fácilmente a las cavidades de la matriz, por lo que a la hora de forjar piezas hay que seguir los pasos siguientes:

1. ***Cortar y preformar la pieza. El preformado se puede hacer con una prensa de forja y el corte con sierra o cizalla, en la figura 6.17 se muestra la pieza cortada y preformada.***

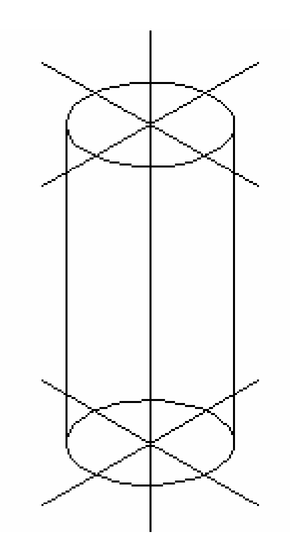


Figura 6.17 Pieza cortada y preformada

Se utiliza el preformado cuando la pieza a forjar tiene una geometría complicada o su peso unitario es relativamente alto, con esta operación se modifica la configuración inicial del metal, facilitando así su forjado final. Requiere además de un calentamiento inicial.

2. ***Calentar el trozo de metal cortado y/o preformado en hornos del tipo eléctrico, de resistencia, de inducción, de alta frecuencia o de combustible líquido o gaseoso.***
3. ***Los aceros (incluyendo el acero inoxidable), son calentados aproximadamente a 1230 ^{o}C, en cambio, el aluminio se calienta a 425 ^{o}C, en la figura 6.18 se muestra una pieza de metal calentada a alta temperatura.***



Figura 6.18 Calentamiento del metal

Esta fase de calentamiento se requiere, a pesar de que el metal haya sido previamente calentado para su preformado.

4. ***La pieza ya caliente, se coloca en la matriz de la prensa o martinete, como se ve en la figura 6.19.***

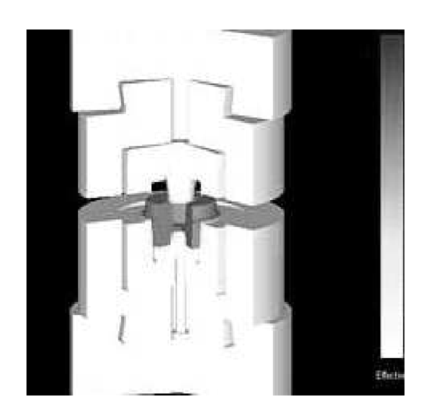
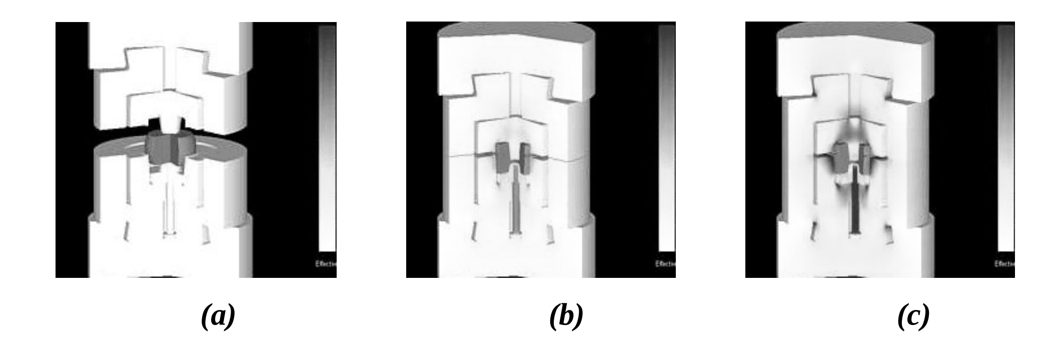


Figura 6.19

Dependiendo de su forma, tamaño y complejidad será el número de pasos y cavidades de la matriz, donde parcialmente se le irá dando forma al producto como se observa en las figuras 6.20a,6.20b y 6.20c.



(a) ***(b)*** ***(c)***

Figura 6.20- Formación de la pieza

Cuando la pieza ha sido formada, pasa a unas prensas cortadoras de menor capacidad, para efectuar en ellas el desbarbado, esta operación se puede observar en la figura 6.26.

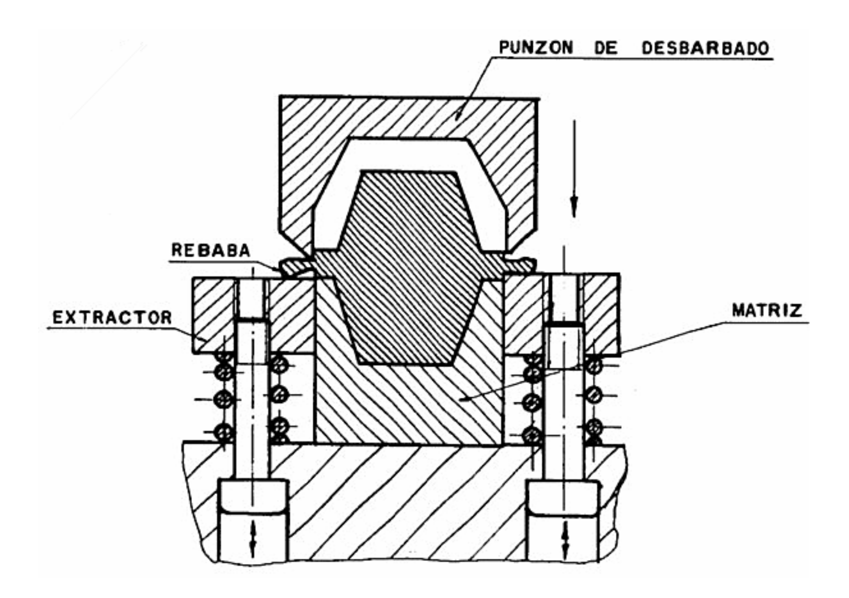


Figura 6.21 Eliminación de rebaba o desbarbado

Se debe realizar inmediatamente después del formado final para aprovechar la elevada temperatura de la pieza y hacer el corte con una fuerza menor.

5. ***Una vez que la pieza se ha forjado y desbarbado, se le somete normalmente a un tratamiento térmico con el propósito de aliviarle esfuerzos originados por la deformación y reducir la dureza en casos de aceros de alto contenido de carbono. Los métodos más usuales para ablandar el acero son el recocido y el normalizado.***

Las partes hechas por el proceso de forja en caliente, pueden pesar desde 200 g hasta más de 2 ton, sin embargo, la mayoría de las piezas pesan de 2 a 50 kg.

Con respecto al paso 1(cortar y preformar la pieza), es conveniente enfatizar que la mayoría de las piezas forjadas requieren de un preformado también en caliente, éste debe enfocarse a la formación de "bolsas" de material en las zonas donde el producto final tendrá mayor sección transversal.

Para un diseño adecuado del producto y del herramental empleado en la forja es conveniente diferenciar el proceso de la siguiente manera:

6.10.- FORJA CON MATRIZ CERRADA EN BLOQUE

El diseño utiliza filos grandes, radios en las esquinas, almas y nervios gruesos; generalmente se forjan las piezas en un solo juego de matrices. Se requieren presiones de 0.015 a 0.023 ton por mm² de área plana proyectada para aleaciones de aluminio, dependiendo del metal y de la complejidad del diseño.

La presión requerida es menor que la empleada en forjas más intrincadas. La forja en bloque, requiere generalmente maquinado en todas sus superficies. La selección de este proceso se puede basar en un estudio económico sobre el tamaño del lote de producción o en la necesidad de maquinar el producto debido a requerimientos de tolerancias cerradas.

6.11.- FORJA CONVENCIONAL

Es el más común de los procesos de forja con matriz y se pueden obtener formas más intrincadas que con el proceso anterior con productos más ligeros, detalles de forma y tolerancias más cerradas. Las diferencias de diseño entre ambos tipos de forja para un mismo producto, se muestran en la figura 6.22

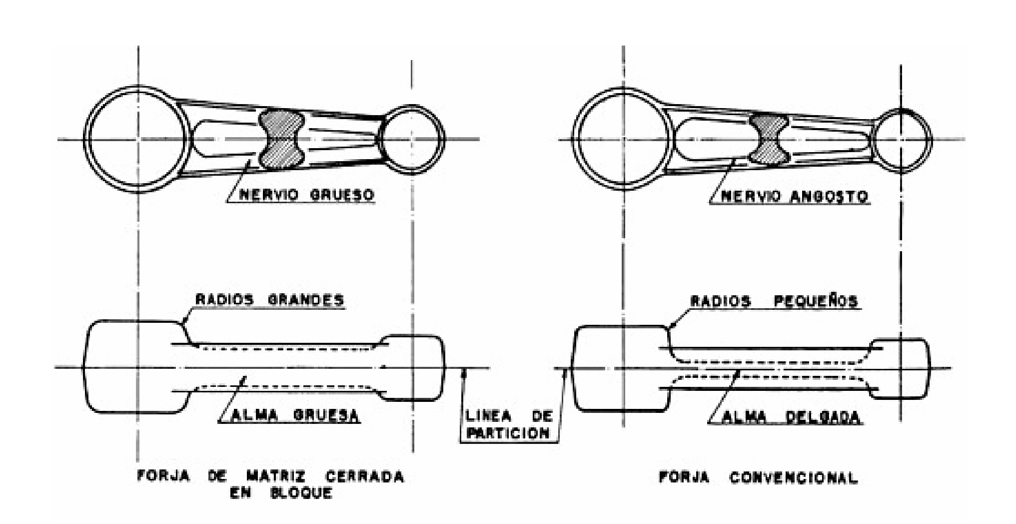


Figura 6.22.- Diferencias entre la forja de matriz cerrada en bloque y la forja convencional

La forja convencional requiere sólo maquinado parcial de acabado; para aleaciones de aluminio, las presiones usuales van de 0.023 a 0.039 ton/mm² de área plana proyectada y generalmente se requiere preformar el trozo de metal que se va a utilizar en la matriz.

El diseñador debe evaluar las diferencias de costo entre ambos tipos de forja. La forja en bloque tiene menor costo de herramental, pero el producto será más pesado y requerirá más operaciones de maquinado para terminarlo.

6.12.- FORJA DE PRECISIÓN

Implica tolerancias más cerradas que en los dos procesos anteriores, diseños más intrincados con pequeños nervios y radios de esquinas, y delgados cuerpos y filos. El alto costo del herramental (generalmente se requieren de dos a tres juegos de dados o matrices) se debe justificar por el uso final de la pieza, el tamaño del lote de producción y por el ahorro en el maquinado final. Este tipo de forja requiere generalmente de 0.029 a 0.078 ton/mm^2, para aleaciones de aluminio.

6.13 FUNDAMENTOS DE DISEÑO SOBRE EL PRODUCTO

Los fundamentos referentes al diseño del producto que se enunciarán a continuación, son aplicables a todos los metales forjables y sus aleaciones.

6.13.1 Línea de partición

Es el plano de partición entre el dado superior y el inferior de una matriz cerrada. Normalmente se ubica (aunque no siempre) a través del área transversal máxima de la pieza; puede ser plana o irregular y se debe señalar en todos los dibujos del producto y de la matriz. La ubicación del plano de partición puede influir considerablemente en el costo del herramental, duración de la matriz, facilidad de forja, flujo del grano, propiedades mecánicas y requerimientos de maquinado para la terminación de la pieza.

Es preferible situar el plano de partición sobre la periferia mayor de la pieza, ya que es más fácil forjar lateralmente el flujo de metal, extendiéndolo que llenar un hueco profundo, un ejemplo de esto se muestra en la figura 6.23.

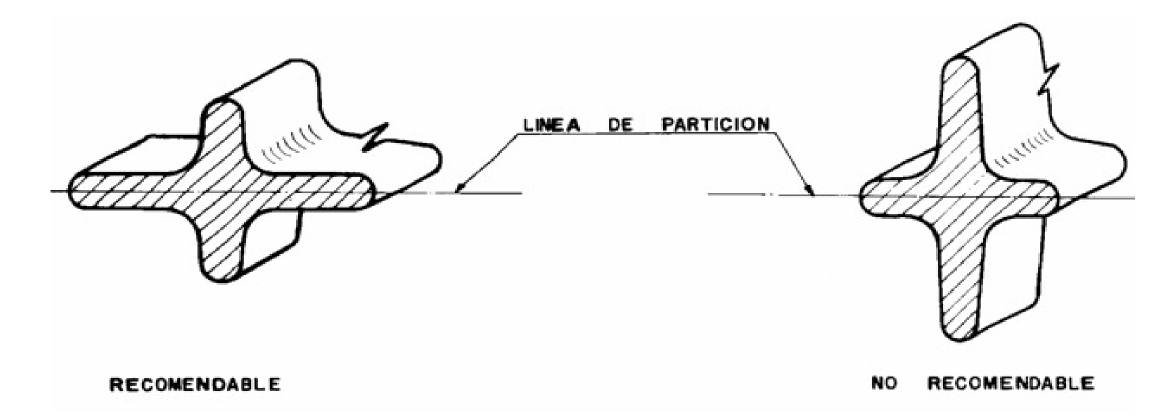


Figura 6.23.- Línea de partición situada a lo largo de la sección más grande y poco profunda

Mediante dados superiores planos se puede reducir el costo del herramental, debido a que sólo se requiere maquinar la cavidad en el dado inferior, esto también simplifica el proceso, ya que elimina la posibilidad de desalineamiento sobre los dados superior e inferior y permite tener un solo dado superior plano para varias matrices, en la figura 6.24 se observa una superficie forjada con un dado plano.

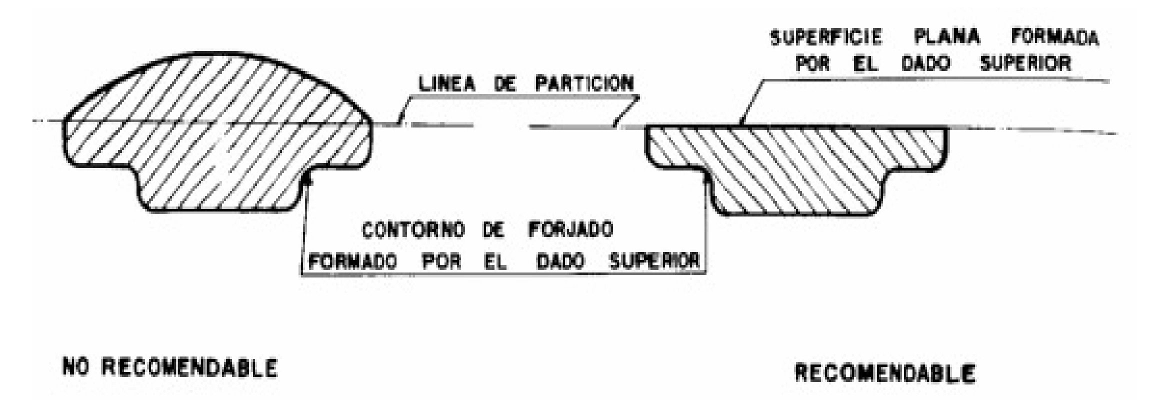


Figura 6.24.-Una superficie plana en la línea de partición reduce el costo del dado, simplifica **la operación de desbarbado y elimina el desalineamiento entre dados**

Las piezas donde la línea de partición está inclinada con respecto al plano de forja, pueden presentar dificultades durante el desbarbado si la inclinación es demasiado grande, la práctica recomendable es limitar esta inclinación a 75º como máximo, según se indica en la figura 6.25, para evitar extremos mal desbarbados.

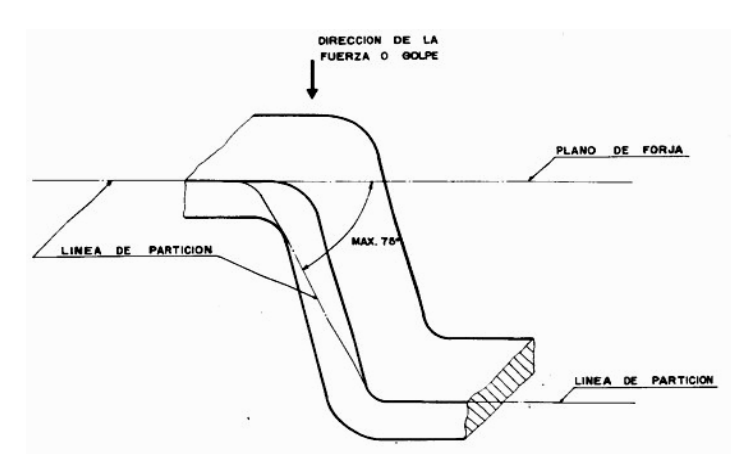


Figura 6.25 La inclinación máxima recomendable de la línea de partición para el desbarbado no debe ser superior a los 75 º

La localización de la línea de partición tiene un papel crítico sobre el flujo del grano y en las propiedades dimensiónales del producto forjado.

Durante el proceso, el exceso de metal fluye fuera de la matriz por la cuneta de alivio conforme los dados se aproximan. Este flujo en dirección de la línea de partición puede crear zonas desfavorables en la pieza según se muestra en la figura 6.26.

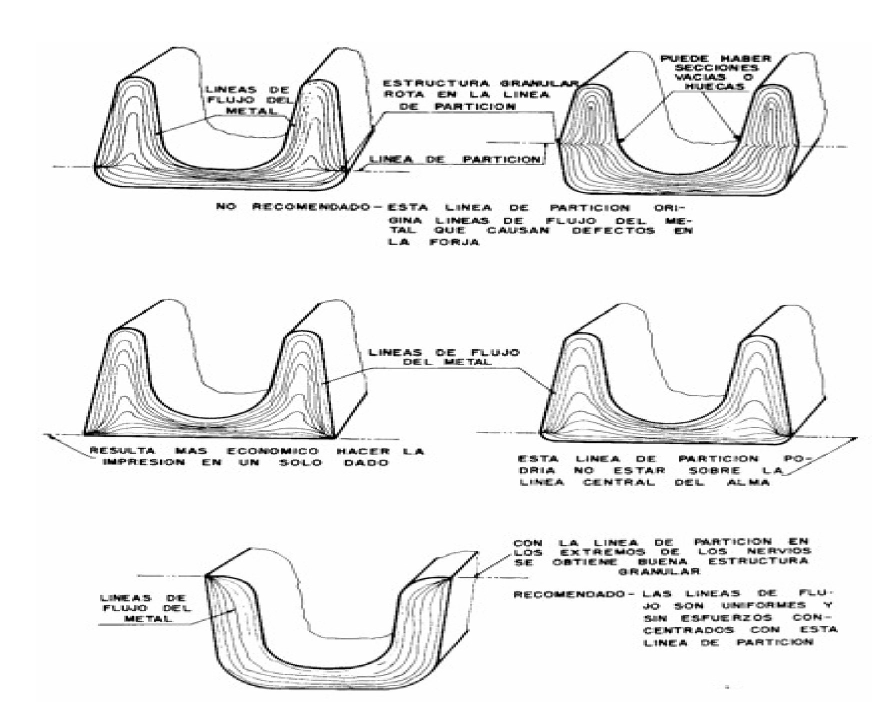


Figura 6.26.- Efectos producidos en la orientación del grano por la localización de la línea de partición en una sección en "U"

Una línea de partición sobre el lado exterior de un nervio, puede colocarse indistintamente, adyacente al alma de la pieza o en el extremo del nervio opuesto. En las forjas donde el alma de la pieza esté situada en varios planos, enmarcada por un nervio, la línea de partición puede seguir la trayectoria del alma de la pieza, como se ve en la figura 6.27.

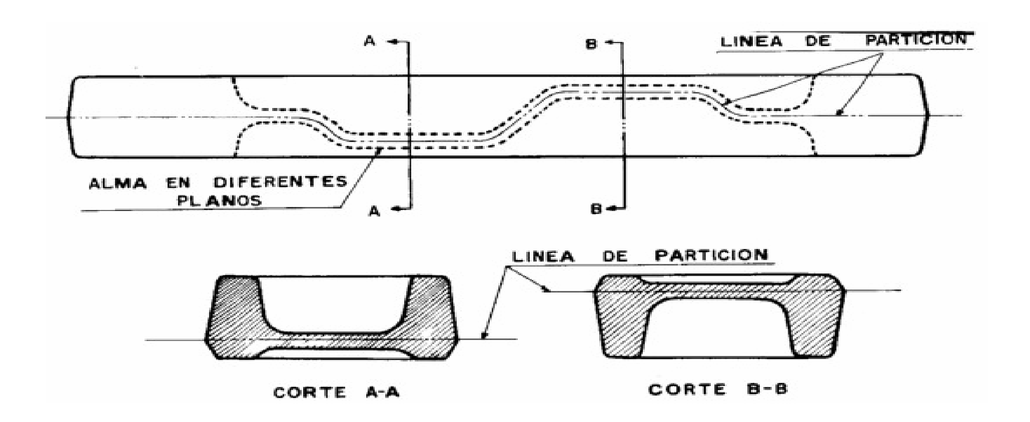


Figura 6.27.- Trayectoria de la línea de partición a lo largo del alma de la pieza

También es correcto situar la línea de partición por encima o por debajo de la superficie del alma de la pieza. La figura 6.28 muestra como la ubicación de la línea de partición puede modificar el diseño del producto y de la herramienta.

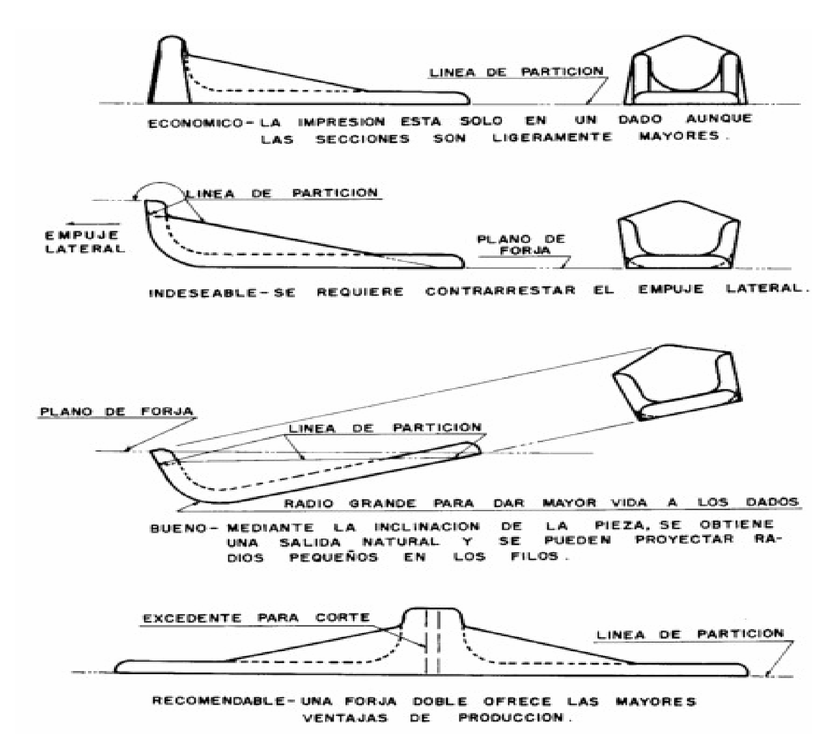


Figura 6.28.- Ejemplos que ilustran los efectos del cambio de la línea de partición y del plano de forja

Cuando la línea de partición está inclinada con respecto al plano de forja o las dimensiones principales de la pieza están en planos coordenados girados, el ángulo de salida debe estar referido a la dirección de la carrera de la prensa o martillo, como se observa en la figura 6.29.

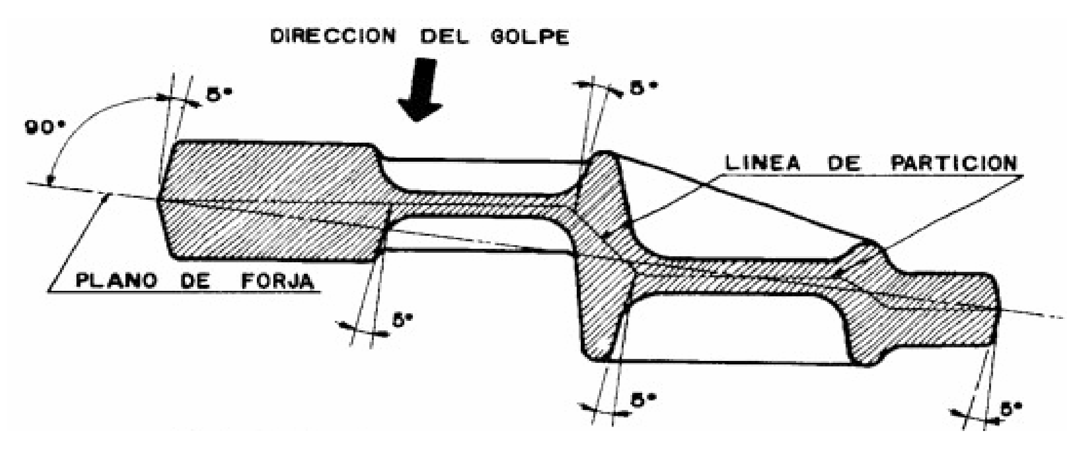


Figura 6.29.- Los ángulos de salida deben ser medidos respecto a la perpendicular al plano de forja

Los ángulos de salida no pueden establecerse hasta que el plano de forja sea delimitado. Un método para posicionar el plano de forja con respecto a una línea de partición irregular, se muestra en la figura 6.30.

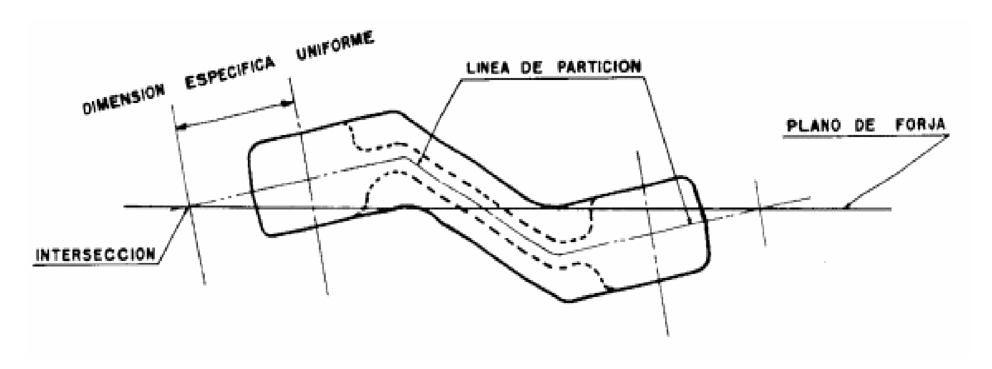


Figura 6.30.- Plano de forja recomendado respecto a la línea de partición

Los puntos de intersección se sitúan a 13 mm o menos de los extremos de la pieza.

6.13.2 Ángulo de salida

Las salidas se refieren a la conicidad dada a las paredes interiores y exteriores de una pieza (obtenida en una matriz de forja) para facilitar su extracción de la cavidad del dado. Como ya se mencionó, las salidas están acotadas mediante ángulos referidos a la dirección de la carrera del yunque.

Las salidas no sólo aseguran una buena forja con un mínimo de dificultades de producción, sino que también reducen la fatiga de la matriz. Los ángulos de salida estándar se muestran en la tabla 6.1 en función de la profundidad de la cavidad.

Tabla 6.1.- Profundidad máxima de la cavidad del dado en función del ángulo de salida

PROF.	***ÁNGULO DE SALIDA***				
	1º	***3º***	***5º***	***7º***	***10º***
mm	***CATETO "A"***				
0.79	***0.0005***	***0.0016***	***0.0027***	***0.0038***	***0.0055***
6.58	***0.0011***	***0.0033***	***0.0055***	***0.0077***	***0.011***
6.38	***0.0016***	***0.0049***	***0.008***	***0.0115***	***0.0165***
3.17	***0.0022***	***0.0066***	***0.0109***	***0.015***	***0.022***
4.76	***0.0033***	***0.0098***	***0.016***	***0.023***	***0.033***
6.35	***0.0044***	***0.013***	***0.022***	***0.031***	***0.044***
7.93	***0.0055***	***0.016***	***0.027***	***0.038***	***0.055***
9.52	***0.0065***	***0.020***	***0.033***	***0.046***	***0.066***
16.11	***0.0076***	***0.023***	***0.038***	***0.054***	***0.077***
16.70	***0.0087***	***0.026***	***0.044***	***0.061***	***0.088***
16.87	***0.011***	***0.033***	***0.055***	***0.077***	***0.110***
19.05	***0.013***	***0.039***	***0.066***	***0.092***	***0.132***
26.22	***0.015***	***0.046***	***0.077***	***0.107***	***0.154***
26.4	***0.017***	***0.052***	***0.087***	***0.123***	***0.176***

En la mayoría de los casos, los ángulos de salida menores de 5º impiden el uso de martillos de forja, ya que se requiere la adición de un mecanismo con pernos expulsores para extraer la pieza forjada de la cavidad. La combinación de varios ángulos de salida puede resultar en un mayor costo de la matriz de forja, debido a que en algunas ocasiones la cavidad se maquina con cortadores cónicos y el empleo de un solo ángulo de salida, implica el uso de un solo cortador.

Los nervios, paredes laterales y protuberancias con ángulo de salida constante para diferente profundidad, variarán en el espesor de la base. Si se efectúa un corte imaginario por el fondo de la cavidad, se observaría que las partes más profundas tendrían una pared recta y de espesor constante, sin embargo, conforme se acercara el corte al plano de

partición, la base variaría de espesor y estaría curva o irregular, debido al ángulo de salida constante, esto se muestra en la figura 6.31.

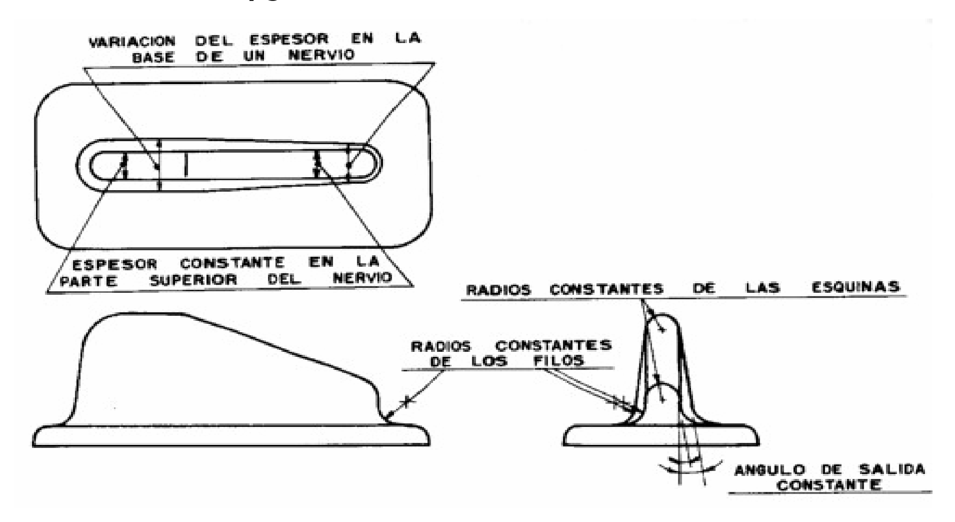


Figura 6.31.- Simplificación del diseño mediante ángulos, radios y espesores constantes

Formar un nervio de altura variable con la parte superior e inferior paralelas, requiere la combinación de ángulos de salida con el consecuente incremento en el costo de la matriz. Esto se debe hacer sólo en casos donde sea imperativo. La figura 6.32 muestra varias opciones y sus efectos.

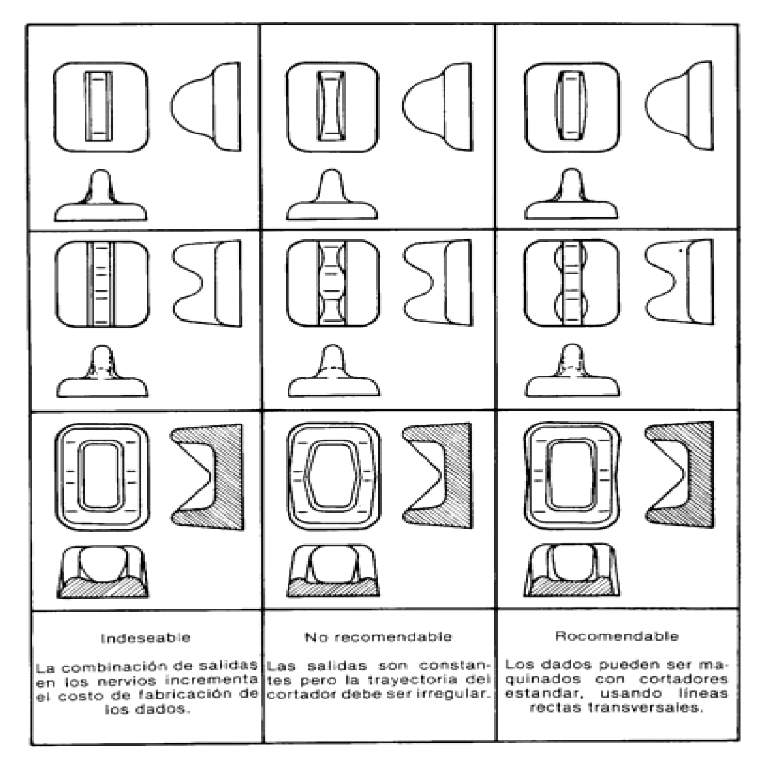


Figura 6.32.- Recomendaciones sobre el contorno de las salidas para minimizar los costos

6.13.3 Bordes o salidas negativas

Esto es posible aunque requiere de cuidadosas consideraciones para su aplicación. Los bordes pueden incrementar ligeramente el costo de operación, ya que la extracción de la pieza puede ser más dilatada.

Una forja con bordes a ambos lados de la línea de partición, como la que se muestra en la figura 6.33, no puede realizarse debido a que el dado requeriría ser separable o partido para remover la pieza y esta separación del dado podría mutilar la forja al vencer la resistencia del ángulo de salida en ambos dados.

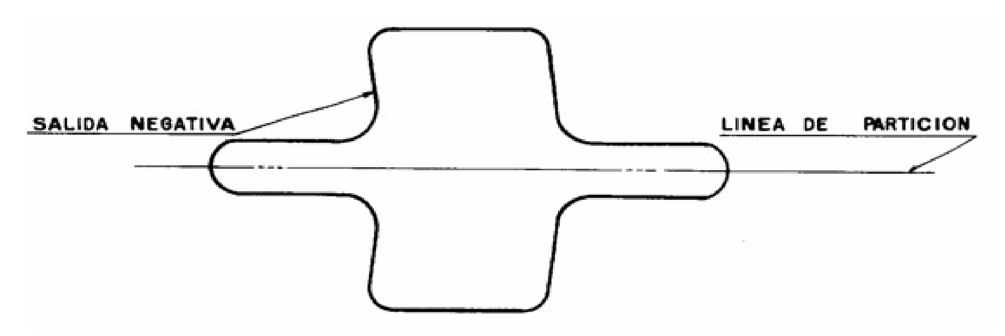


Figura 6.33 Las salidas negativas en los dados superior e inferior impiden su apertura y la extracción de la pieza

Los bordes que deben estar en el dado inferior, sólo se pueden forjar entre los límites mostrados en la figura 6.34 y la pieza debe ser removida en la dirección inclinada a causa del ángulo negativo que no debe ser mayor de 6º.

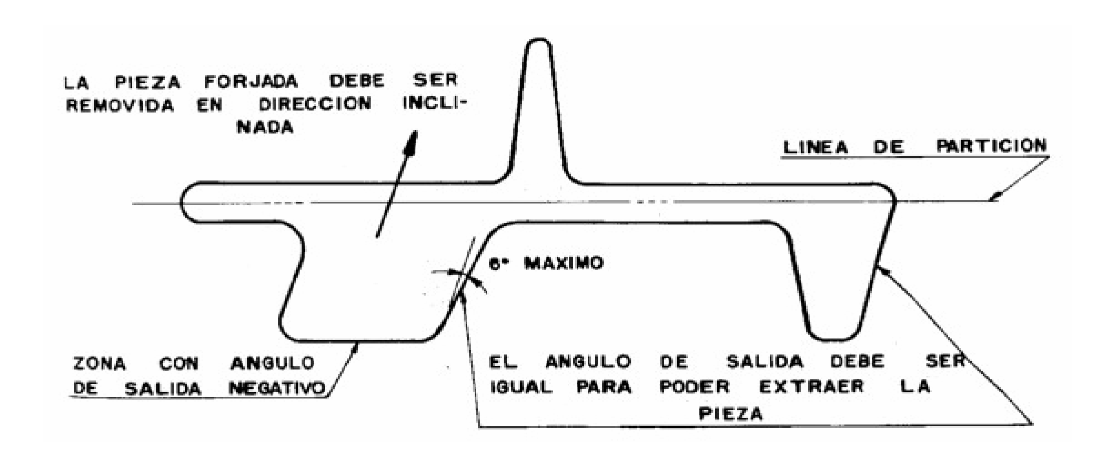


Figura 6.34 Pieza con ángulo de salida excesivo para permitir su extracción a pesar del ángulo negativo

También se pueden forjar piezas con ángulos negativos, inclinando el plano de forja para eliminar dicho ángulo, como se muestra en la figura 6.35

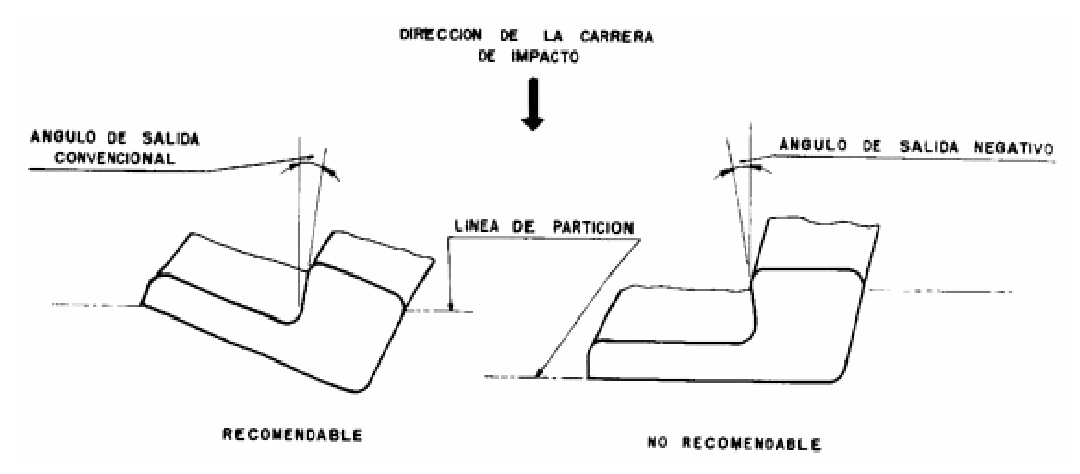


Figura 6.35.- Inclinación del plano de forja para poder formar una zona con ángulo de salida negativo

6.13.4 Radios en las esquinas

El radio de una esquina se forma por la intersección de dos superficies con un ángulo menor o mayor de 180°. Para establecer las dimensiones de estos radios, se deben tener en cuenta dos factores:

1) *El radio como un factor de concentración de esfuerzos en el dado*
2) *La presión necesaria para llenar la cavidad del dado.*

La forma de un extremo o la esquina de una pieza forjada, requieren la correspondiente cavidad en el dado, debido a que la forja es una pieza en positivo y la cavidad del dado una forma negativa; por lo tanto, el radio de una forja está formada por la correspondiente arista del dado. Cuando estas aristas son excesivamente marcadas(poco radio), la fuerza del metal bajo presión y el esfuerzo que esto causa sobre las esquinas, puede provocar fisuras o roturas de estas esquinas después de que tan sólo unas cuantas piezas hayan sido forjadas.

Este efecto adverso sobre el dado se incrementa, debido a las grandes presiones requeridas para llenar y formar esquinas agudas, lo que disminuye la vida del dado y vuelve al proceso antieconómico.

Los radios mínimos en las esquinas, limitan el uso de nervios muy altos y delgados. Conforme a la grafica mostrada en la figura 6.36 (elaborada para aleaciones de aluminio) que proporciona el radio de una esquina en función de la altura de la forja a partir del plano de partición, se tiene que hacer lo siguiente:

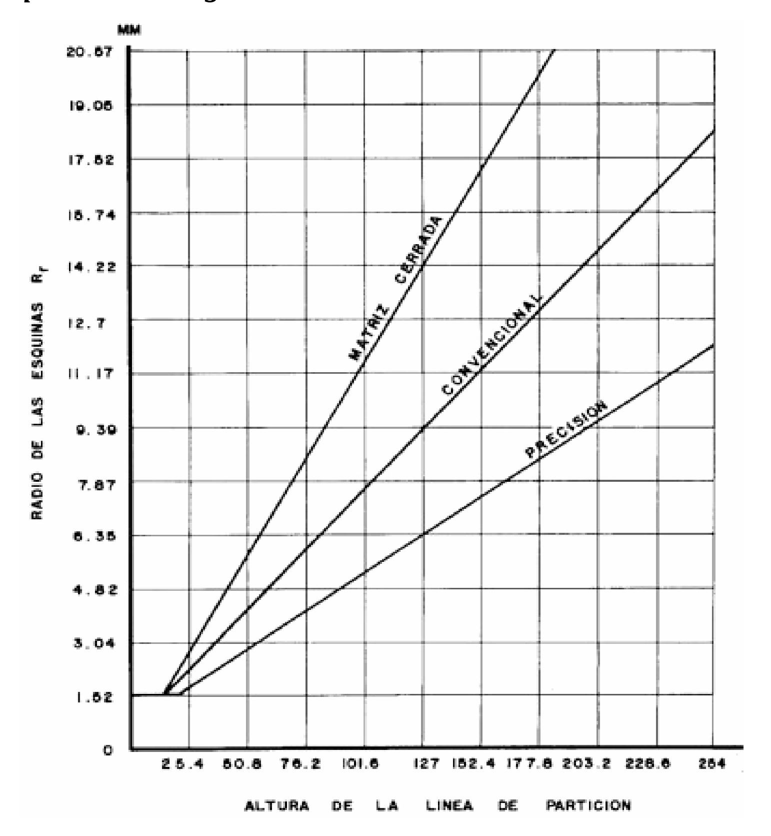


Figura 6.36 Dimensiones de los radios recomendados para las esquinas

Formado con un radio en el extremo y salidas estándar, un nervio no debe ser más delgado que el doble del radio. Un nervio grueso o caja, debe tener un extremo plano con dos radios en las esquinas, cada uno igual al radio recomendado; sin embargo, es mejor usar un solo radio, igual a la mitad del espesor del nervio, estos dos casos se ilustran en la figura 6.37.

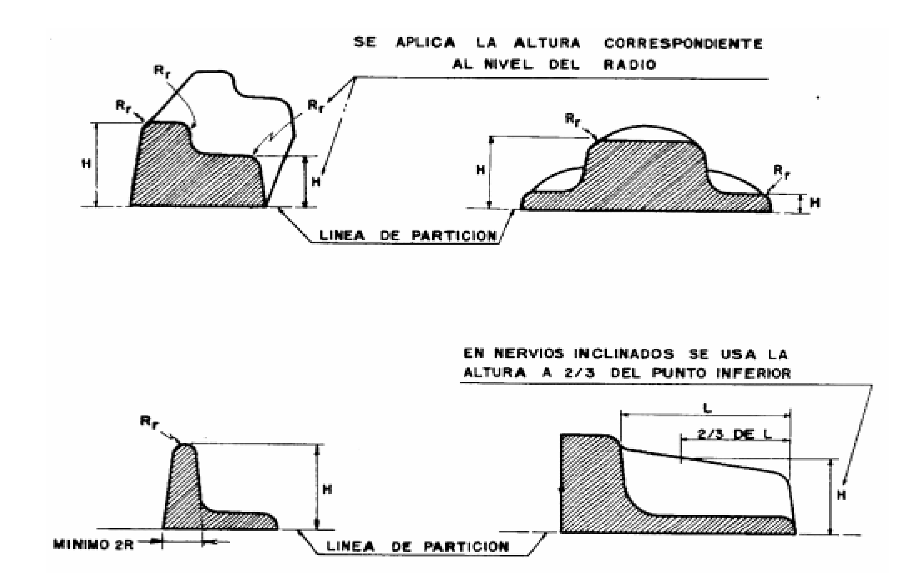


Figura 6.37.- El radio de las esquinas es función de la altura de partición

Se deben buscar radios máximos, pero cuidando de mantener los costos de forja al mínimo.

La cuidadosa utilización de radios constantes en las esquinas, permite el empleo de herramientas con la misma conicidad, lo que puede redundar en ahorros, en la figura 6.38 se muestra una pieza con radios constantes.

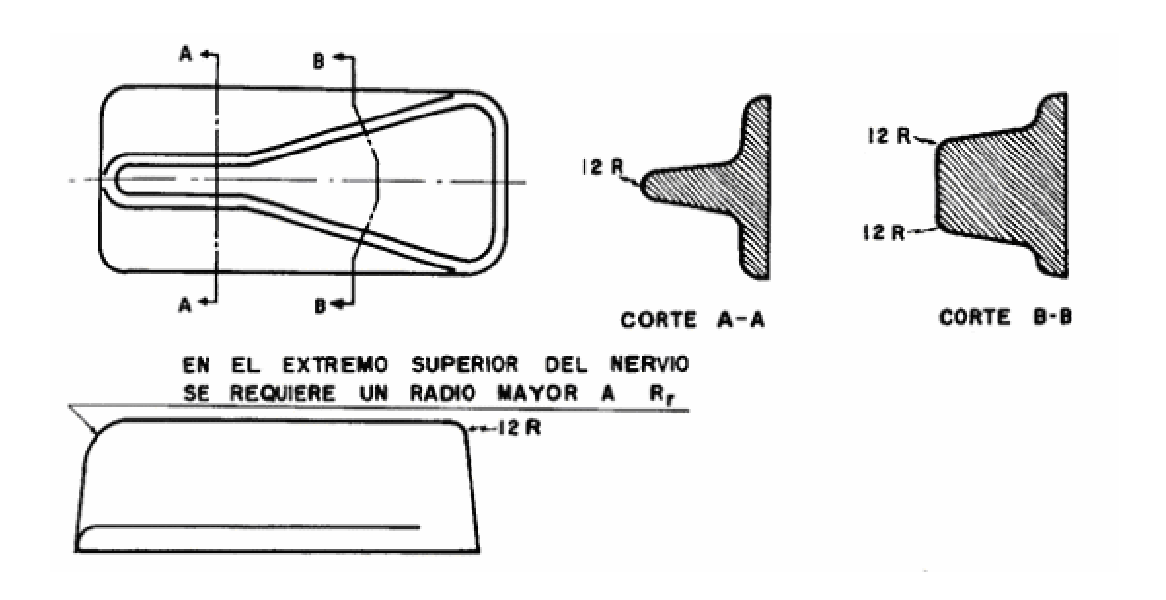


Figura 6.38.- El costo de fabricación de los dados puede ser abatido si se utiliza un radio constante en las esquinas

En los extremos de los nervios, es mejor utilizar un radio mayor que el indicado en la figura 6.37. El radio Rx que se muestra en la figura 6.39 puede dimensionarse de acuerdo a lo siguiente:

- *Igual a la distancia entre el agujero y el extremo de la pieza, más el radio del agujero.*
- *Tres veces al radio Rr.*
- *Tan grande como sea posible.*

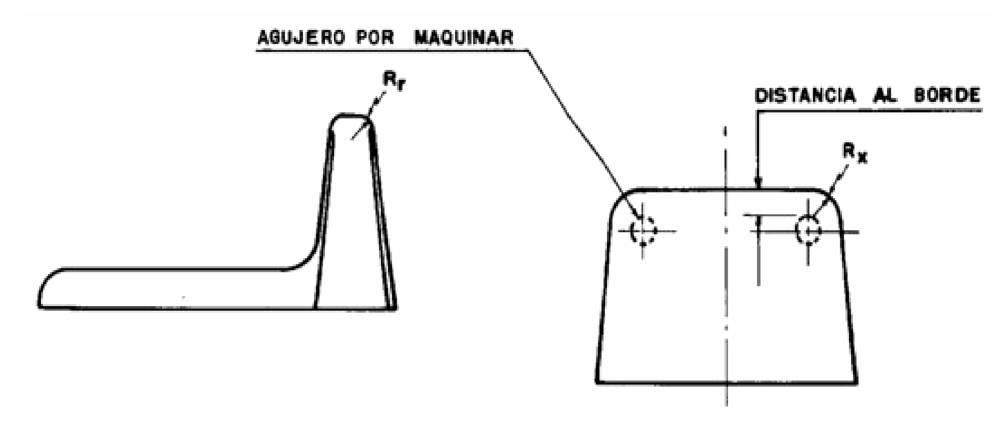


Figura 6.39.- El radio R_x en las esquinas debe ser tan grande como sea posible para mejorar la forjabilidad

Mientras que se recomienda que Rx sea tan grande como sea posible, el tamaño del radio en la vista superior también es importante. Lo mejor es un radio completo que facilite el maquinado del dado, como el recomendado en la figura 6.40.

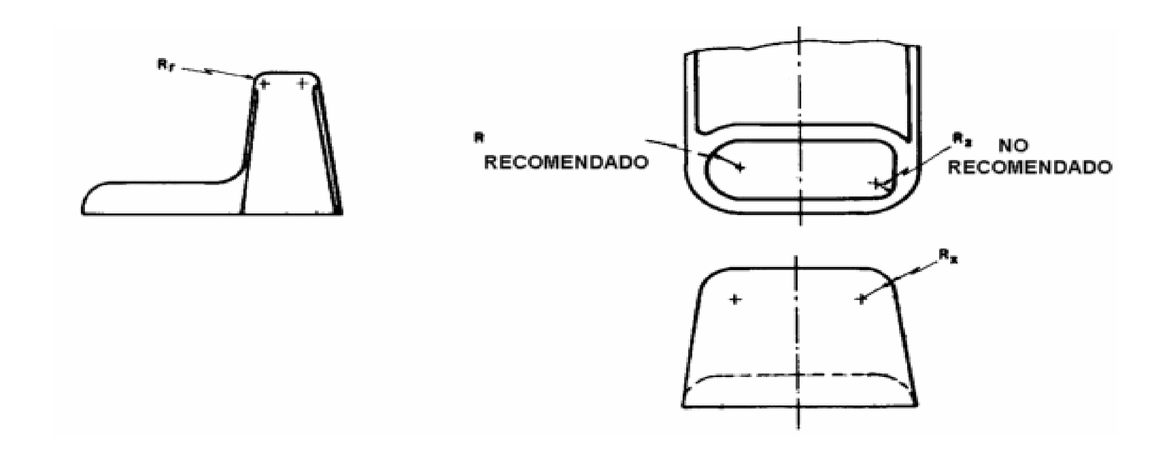


Figura 6.40.- En los extremos de un nervio se recomienda un redondeamiento completo

Si el arco de circunferencia no es de un solo radio(Rz en la figura) el maquinado es más complicado.

Las aristas y bordes que están redondeados con un arco de circunferencia completo, como el nervio con extremo redondeado que se ve en la figura 6.41, reducen los problemas de fractura en las esquinas.

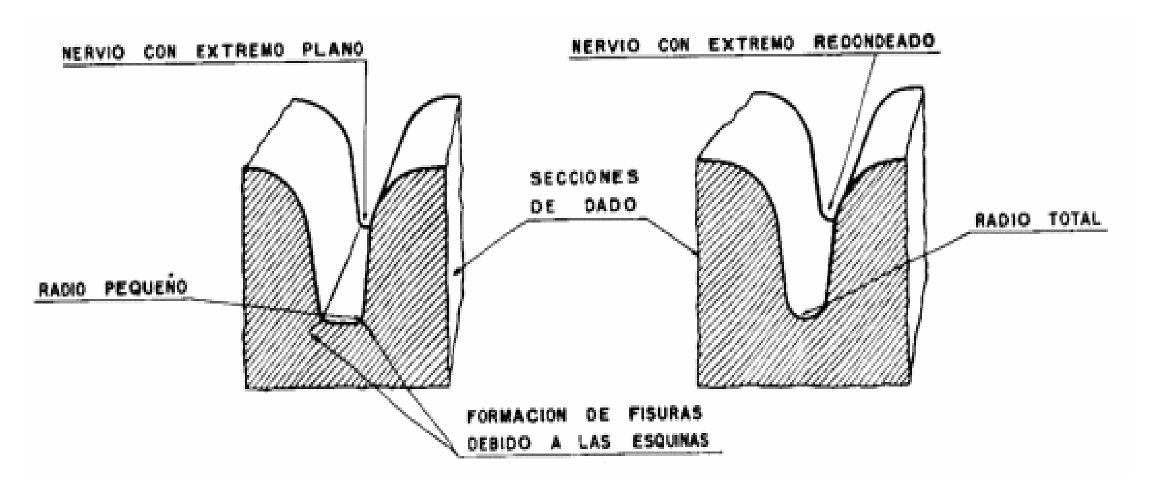


Figura 6.41.- Redondeo de nervios para alargar la vida de los dados y facilitar el flujo de metal

La parte superior o el extremo de un nervio, se debe redondear con un radio mínimo, dependiendo de la altura con respecto al plano de partición. La vida útil del dado se reduce cuando se forjan nervios delgados o profundos.

La fuerza requerida para llenar la cavidad de un nervio profundo, particularmente cuando está adyacente a una sección (alma) muy delgada, desarrolla severos esfuerzos en el dado.

Por lo tanto, los nervios cercanos a almas delgadas, deben ser tan cortos como lo permita el diseño. Los filos que se forman en la intersección de dos superficies, deben permitir al material en forja, fluir libremente para seguir el contorno del dado con facilidad. Los filos con radios pequeños pueden causar vacíos momentáneos durante los cambios de dirección del metal al fluir. Estos huecos son subsecuentemente llenados, pero la interrupción del flujo ocasiona una fisura o grieta que debilita la pieza, lo anterior se muestra gráficamente en la figura 6.42.

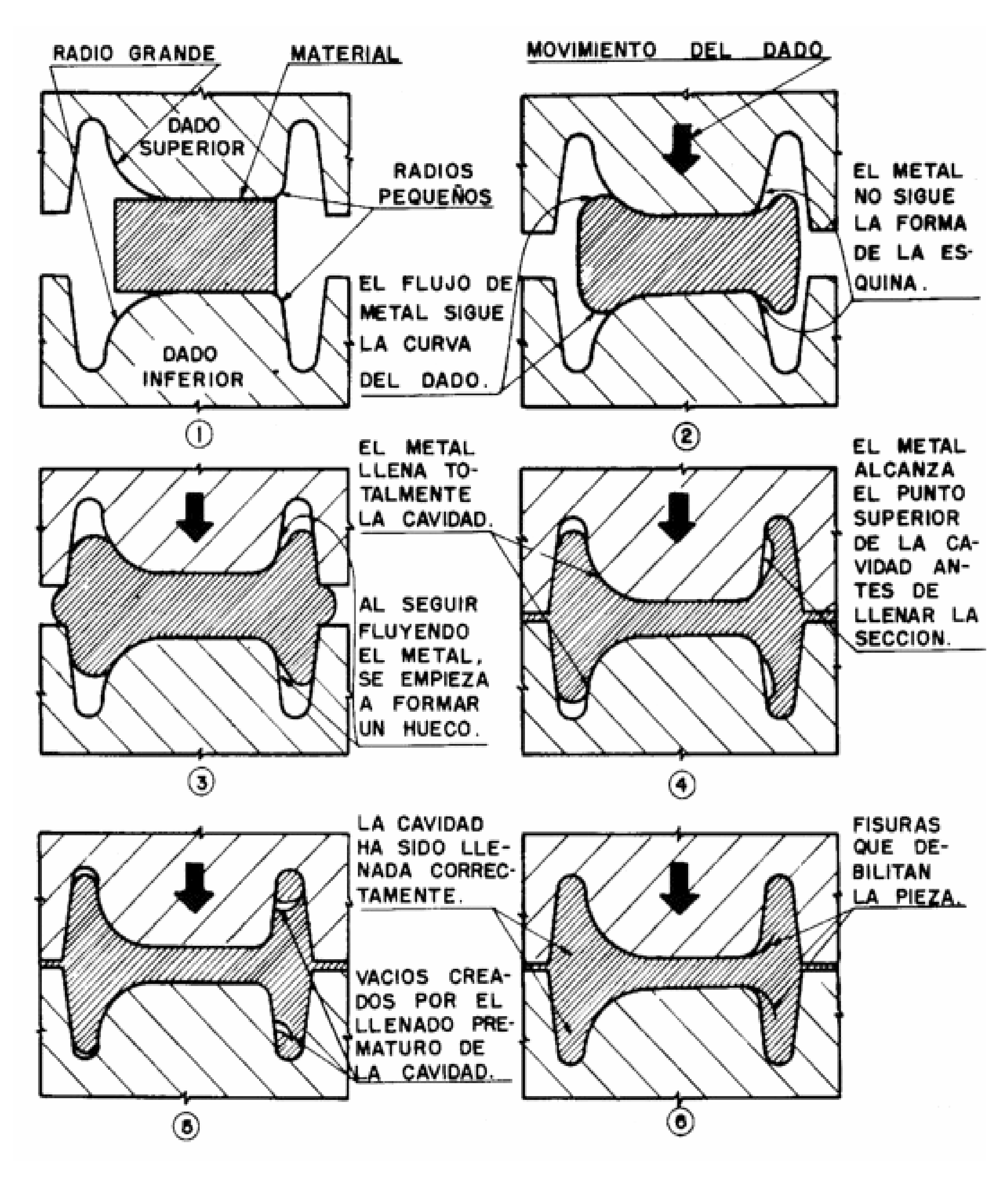


Figura 6.42.- Pasos progresivos de la forja de una pieza para mostrar el efecto de los radios en los filos mal dimensionados

La figura 6.43, muestra los radios en los filos para forjas de aluminio en los procesos de forja en bloque convencional y de precisión.

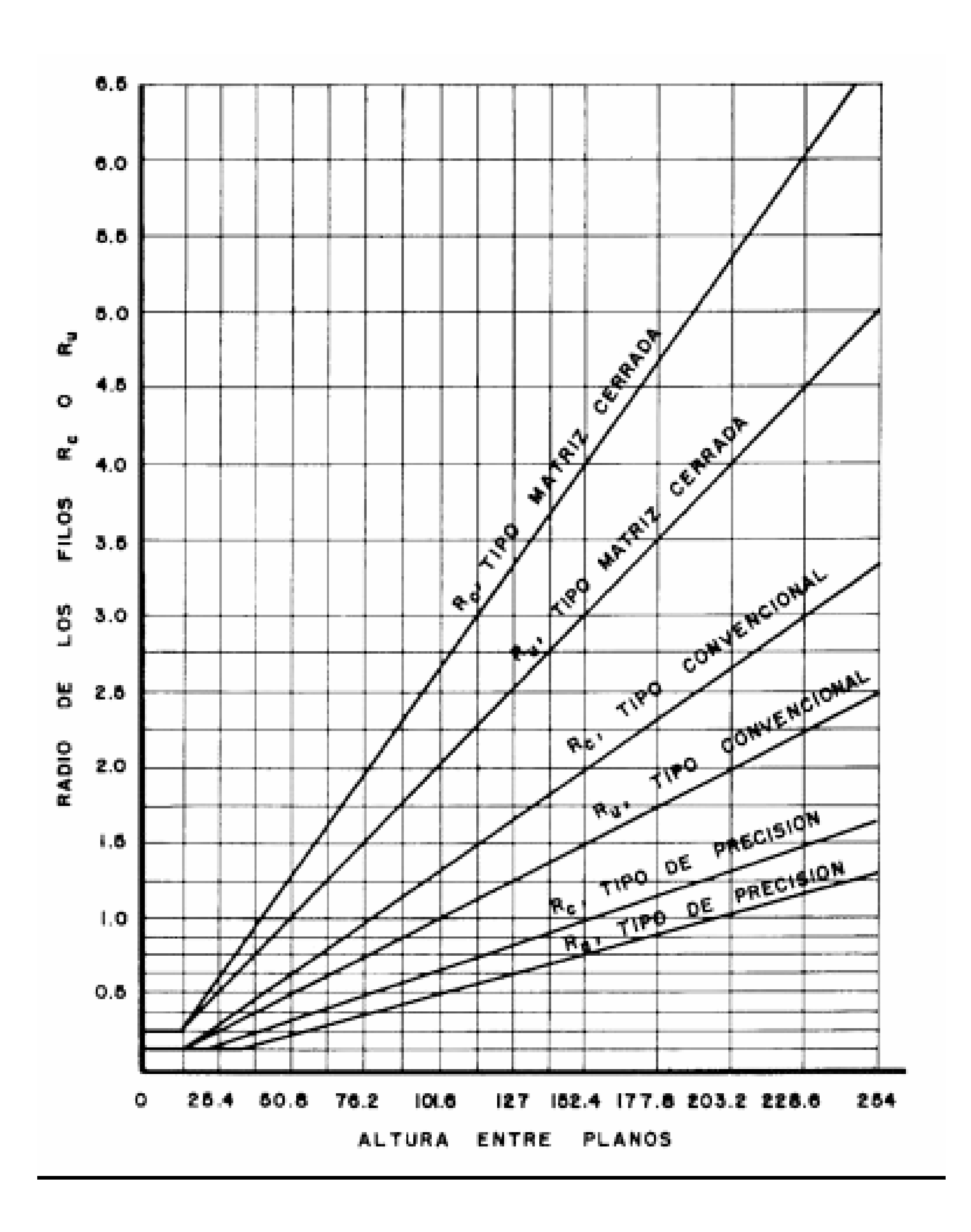


Figura 6.43.- Dimensiones de los radios recomendados en los filos de los dados o en las esquinas del producto

CAPÍTULO 7
INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

7.1.- PLÁSTICOS.

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860 en los Estados Unidos, cuando se ofrecieron 10.000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil —cuyas reservas se agotaban— para la fabricación de bolas de billar. Ganó el premio John Hyatt, quien inventó un tipo de plástico al que llamó celuloide.

El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin el celuloide no hubiera podido iniciarse la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

En 1907 Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico calificado como termofijo o termoestable: plásticos que pueden ser fundidos y moldeados mientras están calientes, pero que no pueden ser ablandados por el calor y moldeados de nuevo una vez que han fraguado. La baquelita es aislante y resistente al agua, a los ácidos y al calor moderado. Debido a estas características se extendió rápidamente a numerosos objetos de uso doméstico y componentes eléctricos de uso general.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivó a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década del 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP).

Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando,

sustitutivo del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes. Un plástico parecido al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes.

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos, potes y hueveras. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico.

También en los años 30 se crea la primera fibra artificial, el nylon. Su descubridor fue el químico Walace Carothers, que trabajaba para la empresa Du Pont. Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametilendiamina y ácido adípico podían formar un polímero que bombeado a través de agujeros y estirados podían formar hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán.

En la última década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases.

Los productos finales son sólidos, aunque en alguna etapa de su procesamiento son fluidos bastante fáciles de formar por aplicación de calor y presión. En forma final los plásticos consisten de largas cadenas de moléculas o polímeros, que se obtienen a partir de bloques de moléculas o monómeros; por medio de catalizadores, calor y presión.
El cruce de eslabones de dos o más polímeros, proceso análogo a la aleación de los metales, es conocido como copolimerización, aunque no todos los polímeros son plásticos. Lo dos tipos básicos de plásticos son:

Resinas. Termoplásticas.- que pueden reprocesarse algunas veces sin ocasionar un cambio en su composición química.

Resinas termofijas.- . ***No se pueden reprocesar debido a que se ocasionaría un cambio en su composición química.***

Hay algunos compuestos que contienen ambos tipos de materiales conservando algunas de sus propiedades.

Propiedades de los plásticos que pueden ser favorables.

- ***Peso ligero.***
- ***Alta resistencia química y a la humedad.***
- ***Lata resistencia al choque y a la vibración.***
- ***Transparentes o traslúcido.***
- ***Tienden a absorber la vibración y el sonido.***
- ***Lata resistencia a la abrasión y al uso.***
- ***Prelubricados.***
- ***Con frecuencia, fáciles de fabricar.***
- ***Pueden tener color uniforme.***
- ***Con frecuencia el costo es menor por parte terminada.***

Propiedades de los plásticos que pueden ser desfavorables.

- ***Baja resistencia.***
- ***Alta expansión térmica.***
- ***Más susceptibles a la rotura por fatiga, flujo a temperaturas bajas y deformación bajo carga.***
- ***Baja resistencia al calor, tanto a la degradación térmica como a la distorsión por calor.***
- ***Más propensos a volverse quebradizos a bajas temperaturas.***
- ***Suaves.***
- ***Menos dúctiles.***
- ***Cambios dimensionales debido a la absorción de humedad y solventes.***
- ***Flamables.***
- ***Algunas variedades son degradadas por la radiación ultravioleta.***

Propiedades que pueden ser favorables o desfavorables.

- ***Son flexibles. Aun las variedades rígidas, tienen mayor resilienccia (capacidad de sufrir una deformación y regresar a su forma original) que los metales.***
- ***No conducen la electricidad.***
- ***Son aislantes térmicos.***
- ***Son formados a través de la aplicación de calor y presión.***

Excepciones.

- ***Algunos plásticos reforzados (epóxicos reforzados) con fibra de vidrio, poliésteres y fenólicos son cercanamente tan rígidos y fuertes (particularmente en relación al peso) como algunos aceros. Pueden tener más estabilidad dimensional.***
- ***Algunas láminas y perfiles orientados (poliésteres) pueden tener mayor resistencia en relación al peso que los aceros rolados en frío.***
- ***Algunos plásticos pueden ser más baratos que los metales con los que compiten (nylon vs latón, acetal vs zinc, poliéster reforzado vs acero inoxidable).***
- ***Algunos plásticos son más duros a bajas temperaturas que a normales (al acrílico no se le conoce la temperatura bajo cero a la que se volvería quebradizo).***
- ***Algunas combinaciones de plástico-metal, amplían el rango de aplicaciones de ambos materiales (láminas de vinilo-metal, cubiertas de vinilo-metal, poliésteres metalizados y fibras de cobre TFE).***
- ***Los componentes de plástico y metal pueden combinarse para producir un balance adecuado de propiedades (partes de plástico con insertos metálicos para cuerpos, engranes con dientes de nylon y cuerpos de fundición gris, transmisiones con engranes alternos de acero y resinas fenólicas, redondeamientos con flechas y carcazas de metal y cojinetes de nylon o TFE).***
- ***Rellenos metálicos en los plásticos, pueden hacerlos conductivos eléctrica o térmicamente, o magnéticos.***

7.2.- PROPIEDADES MECÁNICAS.

Para los plásticos, hay tres tipos de curvas de esfuerzo-deformación. A temperatura ambiente el polietileno, polipropileno, policarbonato, ABS, acetal y nylon (con 2.5% de humedad)

ceden en forma gradual, por ejemplo el nylon seco cede abruptamente; los acrílicos y estirenos, por lo común se fracturan antes del punto de cedencia.

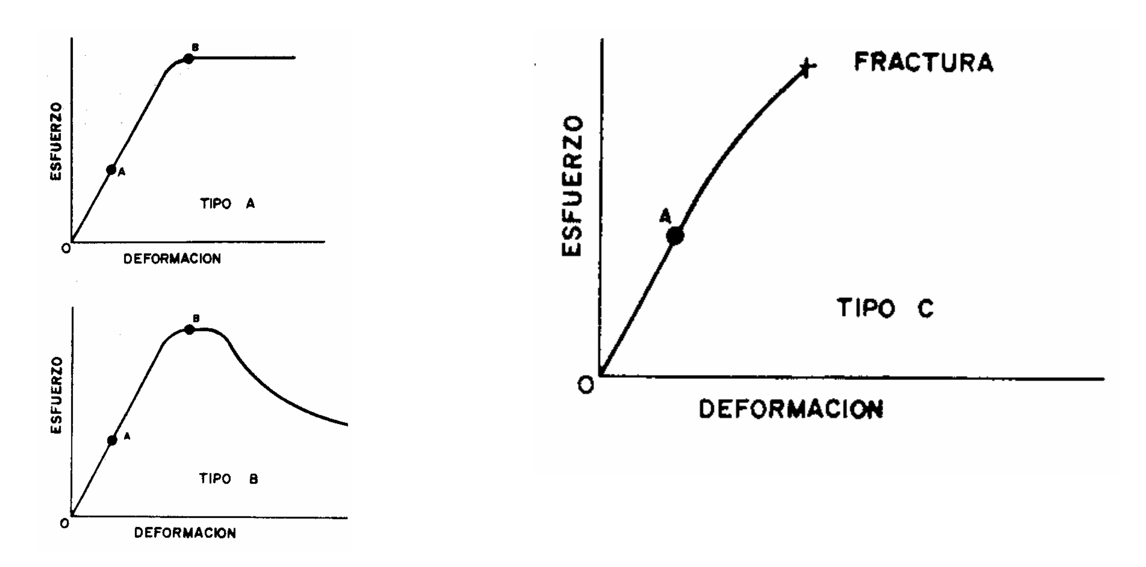


Figura 7.1.- Curvas típicas de esfuerzo-deformación de plásticos que ceden: a)Gradualmente, b) abruptamente y c) a baja deformación antes de la cedencia.

Hay dos regiones de la curva esfuerzo-deformación importantes en el diseño. La región OA, donde se pueden aplicar los principios de diseño en la zona plástica. La región alrededor del punto b (punto de cedencia), es importante cuando sea una consideración primordial evitar la falla debido a deformaciones excesivas.

Debido a que la zona de límite de proporcionalidad, en el caso de los plásticos, no tiene estrictamente una zona lineal, implica que una parte en servicio puede tener una deflexión mayor a la esperada.

7.2.1.- Tensión, compresión y flexión.

Respecto a estos parámetros, se puede comentar lo siguiente. Las curvas de esfuerzo-deformación para tensión y compresión, son idénticas para deformaciones pequeñas. El módulo de flexión, generalmente es igual al módulo para la tensión. Para deformaciones relativamente grandes, el esfuerzo a la compresión es mayor que a la tensión.

7.2.2Envejecimiento.

Las condiciones que causan el envejecimiento de los plásticos son las deformaciones bajo cargas cíclicas o continuas durante mucho tiempo; altas temperaturas y la exposición

prolongada en ambientes oxidantes. Las consecuencias del envejecimiento se manifiestan de dos formas: experimentan una deformación gradual o paulatina bajo una carga constante; disminuye la fuerza requerida para producir una deformación constante. Estas consecuencias del envejecimiento se conoce como "deformación bajo carga" y "relajación", respectivamente. Para propósitos de diseño, se puede asumir que los módulos de deformación y relajación son iguales, siendo estos definidos como el esfuerzo (F/A), dividido entre la deformación en el tiempo t (Lt/Lo). El tiempo t, es función del metal específico.

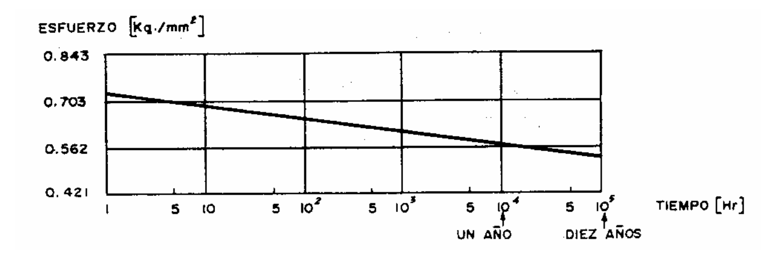


Figura 7.2.- Disminución de la resistencia a la tensión debido al envejecimiento

7.3.-MOLDEO POR INYECCIÓN.

En este proceso cuyas fases se muestran en la figura 7.3., el material entra a través de una tolva de ahí pasa por un cilindro de calentamiento o plastificación donde es derretido para ser inyectado en la cavidad del molde por medio de un pistón accionado hidráulicamente, o de un tornillo sinfín; la acción del tornillo no sólo es giratoria sino que también se mueve longitudinalmente como el pistón de inyección, lo que permite incrementar la capacidad de inyección de la máquina.

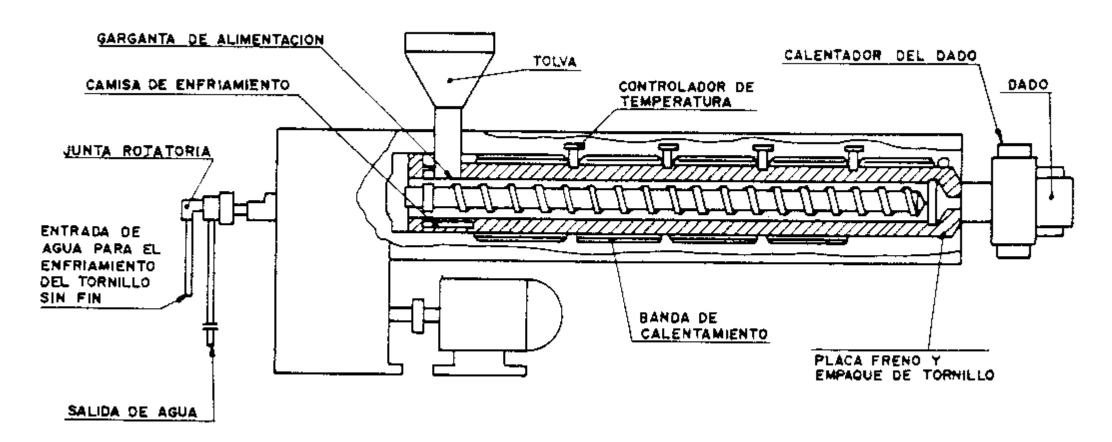


Figura 7.3.- Proceso de inyección

El plástico derretido llena completamente la cavidad del molde, se solidifica rápidamente debido a la refrigeración del mismo, y finalmente es expulsado como un artículo terminado. De esta forma se pueden procesar todos los plásticos (excepto los fluorcarburos TFC y algunos termofijos), siendo uno de los métodos más empleados.

Las máquinas de émbolo están siendo sustituidas en gran medida por las de tornillo sinfín reciprocante. La capacidad de la máquina se define en función de la masa de poliestireno (como material de referencia) que puede inyectar por ciclo, este parámetro se conoce como capacidad de descarga. Las capacidades más comunes van de 140 a 850 gr, aunque hay máquinas de 8.5 kg de capacidad o más. La fuerza de cierre varía de 9 a 2700 ton., y los volúmenes de inyección de 1600 a 2 *10 exp.6 mm^3***/min.***

Algunas ventajas de este proceso son altas tasas de producción a bajo costo por parte; se pueden producir partes de configuración relativamente intrincadas; se pueden moldear con insertos metálicos; los acabados superficiales pueden controlarse para obtener piezas lustradas y la exactitud dimensional del proceso es buena.

Las limitaciones son: no recomendable para baja producción a causa del alto costo del herramental; las resinas pueden solidificarse antes de llenar completamente el molde cuando se inyecta en secciones muy delgadas; se pueden desarrollar tensiones internas a causa de que los materiales enfrían rápidamente; las piezas complejas pueden ocasionar un elevado costo del herramental, como en el caso de los moldes partidos o con dispositivos para desenroscar las partes moldeadas.
Básicamente, el moldeo por inyección es muy similar al proceso de fundición a presión con aleaciones de zinc; la principal diferencia es que el control de la temperatura del plástico a lo largo de su trayectoria por el sistema de alimentación es más crítico.

7.4.- MÁQUINAS INYECTORAS

Para un mejor entendimiento de lo que es la máquina inyectora, la debemos de separar por sus componentes principales. De esta manera será más fácil su análisis y comprensión. Cuando vemos una máquina nueva esta presentará un aspecto limpio y pulcro, figura 7.4. Cada máquina nueva nos niega ver su interior.



Figura 7.4. Maquina inyectora de plásticos

La diversidad de maquinas será como la compra de autos. En un auto identificamos fácilmente las ruedas, carrocería, volante, etc. Si nos sentamos al volante de un auto diferente nos sentiremos incómodos los primeros minutos mientras nos acostumbramos a los avances que estos presentan. Generalmente es para hacernos la vida más cómoda. Después del primer recorrido ya no parece difícil el manejo de la nueva unidad.

En las máquinas inyectoras nos va a suceder lo mismo por lo que no importando la marca, todas tendrán una tolva de material, un lugar donde colocar el molde, un tablero de control, etc. figura 7.5. Si retiramos las puertas y cubiertas podremos ver algunos componentes de su interior (favor de no operar la máquina en estas condiciones. "Peligro")



Figura 7.5.- Componentes principales de una máquina inyectora

La parte posterior presentará una forma muy similar pero veremos más de cerca otros componentes que son necesarios para el buen funcionamiento de la máquina, figura 7.6
Pregunta: Cuando hablamos de que una máquina es de 40 ton. ¿a qué nos referimos?:

a.- al peso del acero con la que esta hecha

b.- a la fuerza de cierre.



Figura 7.6.- Vista posterior de una máquina inyectora

7.5.- COMPONENTES PRINCIPALES

7.5.1.-La ***Unidad de cierre:***

Es principalmente el lugar donde vamos a poner el molde. Una unidad de cierre por muy grande que sea solo tendrá un 10% de su fuerza de cierre para ejercer la apertura. Tome en cuenta esto para futuras referencias.



Figura 7.6.- Unidad de cierre

P*ara lograr el cierre debemos combinar rapidez y tonelaje. Hace 20 años las máquinas que iban a la delantera eran la del tipo hidráulico. Ahora con la incorporación de sensores y al consumo de energía están ganando las máquinas del tipo rodillera.*

Existen pues dos tipos de cierre más conocidos y son el de rodillera y el de tipos hidráulico. Aunque el de la rodillera se mueve con un pequeño cilindro hidráulico, se le considera cierre tipo mecánico de rodillera.

La función principal de la unidad de cierre es la de abrir y cerrar el molde. También su función es la de mantenerlo cerrado durante la inyección

|

7.5.1.1.- Cierre de rodillera.-

E*l tipo de cierre por rodillera es muy simple, figura 7.7. Las palancas logran desplazamientos del molde muy rápidos y dan un estiramiento de las columnas logrando de esta manera el tonelaje de cierre deseado. Midiendo el alargamiento de las columnas (entre 50 y 70 milésimas de pulgada) logramos calcular con precisión el tonelaje aplicado al molde.*

Es muy riesgoso el retirar una columna para lograr meter un molde de gran dimensión. Solo personal calificado debe hacer este movimiento por lo que se sugiere evitar al máximo el mover las columnas a fin de evitar daños en el molde y a las columnas. Existe un alto riesgo de romper una columna y el de perder el paralelismo con la consecuencia de rebaba en el producto final.



Figura 7.7.- Cierre tipo rodillera

7.5.1.2.- Cierre hidraúlico

El tipo hidráulico, figura 7.8, tiene la bondad de que la fuerza de cierre puede leerse directamente del manómetro. Su velocidad al ser muy alta requiere de mayor consumo de energía. Esto las esta poniendo en desventaja en un mundo competido y de ahorro de recursos.

Existen otras combinaciones de cierre pero las aquí presentadas son las más comunes. No olviden que cualquier sistema debe de proteger al molde. Estos deben cerrar con baja presión a fin de no dañar el molde. Haga la prueba de la colada. Esta debe ser aplastada pero sin deformarla. Si no aplasta la colada usted debe estar tranquilo de que no se dañará su molde

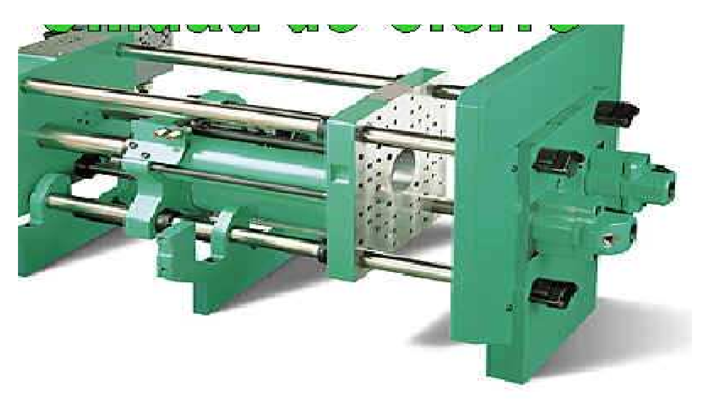


Figura 7.8.- Cierre de tipo hidráulico

Desde las máquinas más antiguas se implemento el seguro de molde. El seguro de molde no es otra cosa más que la de no permitir la aplicación de todo el tonelaje de la máquina sobre el molde si algún objeto extraño se interpone en el cierre del molde. Entre las principales características de la unidad de cierre están:

- ***Fuerza de cierre***
- ***Altura máxima del molde***
- ***Carrera de apertura***
- ***Espacio entre barras***

7.5.2.- La unidad de inyección:

Ayuda a introducir el material plástico al interior del molde figura 7.9. La presión de inyección permanecerá mas o menos constante mientras que la velocidad de inyección aumentará con el tamaño de la máquina. ¿por qué? La respuesta esta más adelante.



Figura 7.9.- Unidad de inyección

En la unidad de inyección se tienen varios componentes que se analizarán con mayor detenimiento. Es de importancia dar un vistazo a las características de nuestras máquinas para saber que podemos y que no.

Diámetro del husillo

•Volumen a inyectar

•Presión de inyección

•Relación L/D

•Velocidad máxima del husillo

Velocidad de inyección

7.5.2.1.- El motor hidráulico

Es el que nos ayuda a mover al husillo durante la recarga de material. La velocidad se mide en vueltas por minuto mejor conocido como R.P.M, figura 7.10. Este sólo gira para cargar y no al momento de la inyección.

El motor hidráulico al hacer girar al husillo, aporta mucho calor al plástico por fricción. No olvide esto porque le será de utilidad durante el moldeo.



Figura 7.10.- Motor hidráulico.

7.5.2.2.-El cañón o barril

Lleva en su interior al husillo y en el exterior se instalan las resistencias y los termopares, figura 7.11 Estos últimos miden la temperatura del cañón. Para medir la temperatura de la masa es necesario purgar la maquina y medir su temperatura directamente del material escurrido.



Figura 7.11.- Cañón o barril

El cañón o barril proporciona la superficie de apoyo para que el material se desplace hacia adelante. También se le incorpora el sistema de calefacción y termopares que aportan y regulan la temperatura necesaria para el arranque.

Existen tres tipos de recubrimientos para trabajar los plásticos:

a.-Recubrimiento al desgaste (fibra de vidrio)

b.-Recubrimiento para la oxidación (PVC)

c.-Recubrimiento para usos generales.

Aunque parece fácil, para personas ajenas al moldeo no se imaginan donde se calienta el material. A estas personas debemos explicarles que en "B" es donde el plástico recibe el calor necesario para ser introducido al molde que se pone en "A". La materia prima en forma de pelet o grano se deposita en la tolva "C". La tolva permite que la máquina trabaje durante unas horas por lo que el operador debe estar al pendiente de su relleno. La tolva debe estar tapada y aunque estemos usando material virgen debemos tener un separador de objetos extraños (normalmente un imán).



Figura 7.12.- Calentamiento del material

7.5.2.3.- El husillo

El husillo, figura 7.13 tiene dos usos y tres funciones.

Hacia adelante:

- ***Trabaja como el embolo de una jeringa:***
- ***Llena y compacta el plástico en la cavidad.***

Hacia atrás gira:

- ***Transporta el plástico hacia adelante, lo compacta para quitarle el aire y por último lo homogeniza o si usa pigmento dispersará uniformemente el color.***

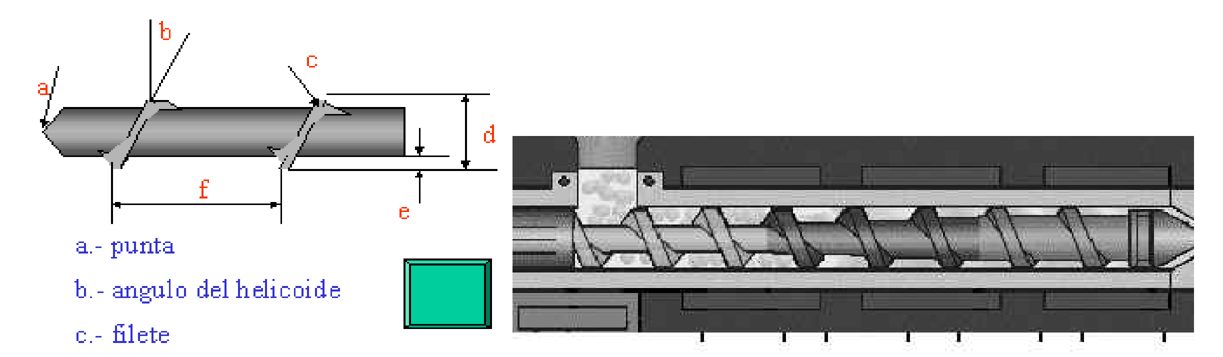


Figura 7.13.- Husillo o tornillo

Al husillo se le pretende dividir en tres zonas:
Traslado, compactado y homogenizado, sin embargo, es mejor decir que el husillo traslada el material de la tolva a la cámara de dosificación y en ese traslado lo compacta con el fin de quitar gases, figura 7.14. Al mismo tiempo y sobre todo en la zona más estrecha lo homogeniza en temperatura y si hay pigmento, este se dispersa.

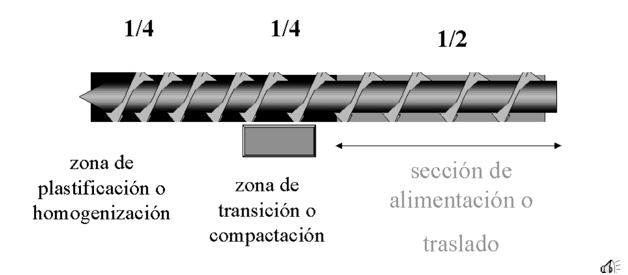


Figura 7.14.- División del husillo en tres zonas

Otros conceptos importantes del husillo es la relación de compresión y la relación longitud diámetro.
Los mejores husillos son aquellos que tienen:
R/C= 3:1 o mayor L/D= 20:1 o mayor
Se usan con menores relaciones debido a la sensibilidad del material. Por ejemplo para el PET y PVC se usaran:
R/C= 2:1 y una L/D = 16:1

Cuando tenga la necesidad de retirar el husillo, favor de apretar la tornillería como se le hace a una rueda de coche, figura 7.15.
Continué con la secuencia aquí sugerida. Empezar con llave Allen desde el extremo más corto y apretar a mano. Después por el lado más largo sin usar tubo. Repita finalmente la secuencia aquí marcada y use un torquimetro.
El éxito esta en la secuencia y en la fuerza que cada vez es más grande. Apriete sobre partes limpias y con los tornillos en buen estado. No olvide la grasa para alta temperatura.



Figura 7.15.- Secuencia de apriete para la tornillería

El juego del husillo, figura 7.16, provoca que el ciclo se prolongue más de lo debido. Algunos aseguran que es tiempo de cambiar máquinas; otros mandan a reparar el husillo y honean el cañón

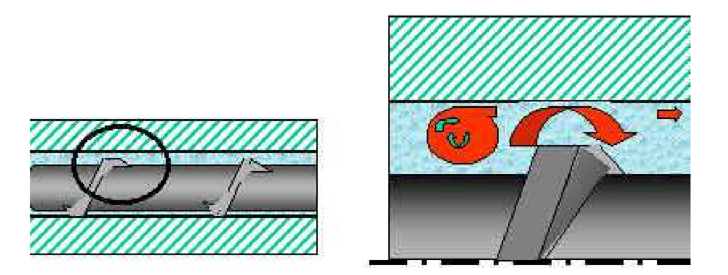


Figura 7.16.- Juego del husillo

El asiento de molde con nariz de la máquina nos dará la confianza de trabajar continuamente sin problemas.
En la figura 7.17 muestra una forma incorrecta y una correcta.¿Cuál cree usted que nos va a dar problemas

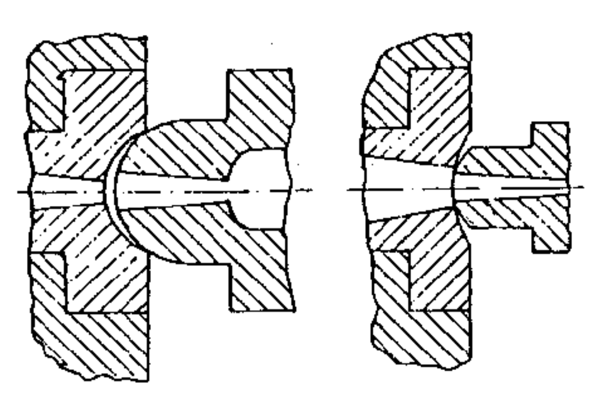


Figura 7.17.- Forma correcta e incorrecta de asentar el molde con la nariz de la máquina

En la base, figura 7.18, encontramos la instalación hidráulica. En ella se instalan las guías para la prensa de cierre y para alinear la unidad de inyección. Esta nos da la altura a la que deseamos la máquina. Por eso en máquinas grandes la bancada a petición de algunos clientes puede desaparecer. Depende de que sea más fácil. Si construir una trinchera o hacer una plataforma para retirar el producto.



Figura 7.18.- base o bancada de una máquina de inyección



7.5.4.- Control de la máquina

El control cada día es mejor y su comprensión causa problemas a los que iniciaron con máquinas de hace treinta años. Ahora es más difícil saber el efecto que provocará un cambio que se realice en la pantalla.

Afortunadamente para los de mente abierta y jóvenes verán que los controles son cada vez más amigables y le indican los valores mínimos y máximos a los cuales se puede ajustar la máquina.

Les invito pues a que comprueben que entre más avanzada este la máquina, esta será más fácil de operar y sobre todo hay más consistencia en cada inyección.

Operar una máquina pequeña de inyección será tan fácil como operar la máquina más grande que se encuentre en México figura 7.19.



Figura 7.19.- Inyectora pequeña

En los iconos usted verá que entre máquinas presentan pequeñas variaciones, figura 7.20 . No se preocupe si no conoce alguno de ellos. Su aplicación es tan especial que hace necesario consultar el manual de la máquina para saber de que se trata.

Con el símbolo "enter" en computación ya se volvió un estándar, pero en las máquinas inyectoras no se ponen de acuerdo y cada marca tiene su particular forma de matar sus.... Bueno tenga paciencia. Si usted desconoce la forma de operar una máquina diferente no se atormente y pídale a alguien que la conoce que suba o baje temperaturas, que suba o baje presiones, etc. De esa manera usted vera las páginas que utiliza y como cambia valores.

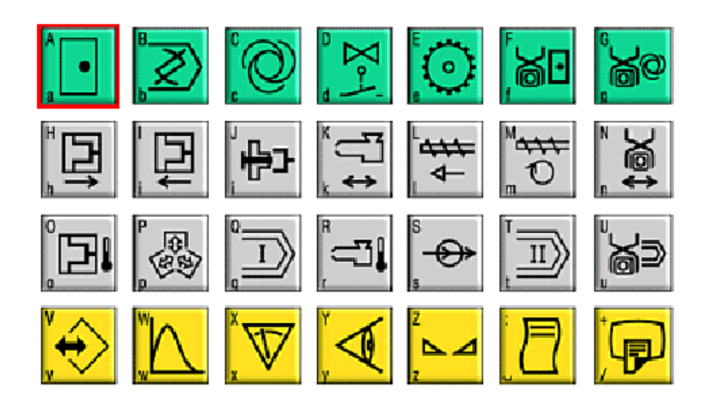


Figura 7.20.- Teclas de control

7.6- MOLDE PARA INYECCIÓN

Las funciones más importantes del molde son:

1.-El molde contiene la forma inversa del producto deseado.
2.-Recibe el plástico caliente y con alta presión desplaza al aire y llena todo tomando la forma del interior.
3.-Una vez frío, se expulsa la parte sin lastimarla

7.6.1.-Clasificación de los Moldes

Usted puede clasificar los moldes de variadas formas.

- ***Por su tamaño:***

a).- grandes
b).- pequeños

- ***Por número de cavidades:***

a).- de una sola cavidad
b).- de múltiples cavidades
Por la forma de trabajar:
a).- manuales
b).- semiautomáticos
c).- automáticos

- ***Por el tipo de construcción:***

a).- de dos mitades o platos
b).- de tres placas
c).- sin sobrantes
Analizaremos esta última clasificación

7.6.2.- Molde de dos placas o mitades

En la figura 7.21 se muestra un molde de dos placas o dos mitades. Una movible y otra fija.

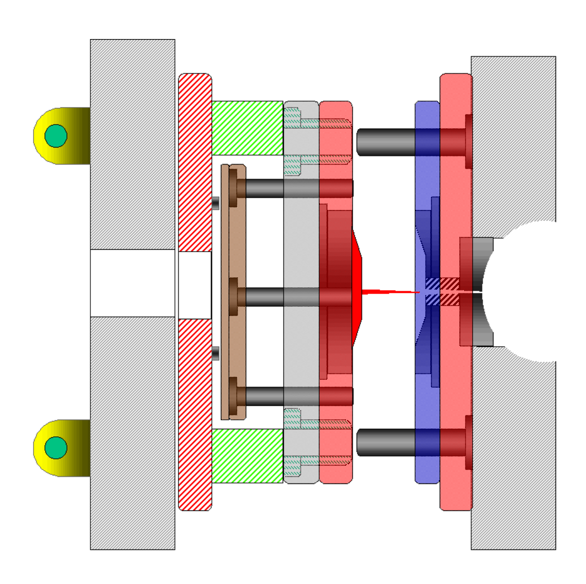


Figura 7.21.- Molde de dos placas o mitades

Los principales componentes de dicho tipo de molde se muestran en la figura 7.22. y se describen a continuación:



a) ***b)***

Figura 7.22.- Componentes de un molde en: a) lado móvil b) lado fijo

Buje: *Los bujes cumplen la función de alinear las dos mitades del molde. Estos hacen pareja con los pernos guía.*

***Pernos guía:** Estos debiesen proteger siempre los corazones; pero no es siempre así. En el dibujo de arriba vemos que los pernos guía están en el lado fijo del molde, dejando desprotegido el corazón o el macho durante algún mantenimiento en el taller de moldes.*

***Cavidad:** Es el hueco que forma la producto deseado. Gracias a que el plástico se encoge o contrae, la cavidad esta siempre del lado fijo. Si se llega a quedar la pieza del lado fijo es porque se esta sobre-empacando el plástico o tiene algún negativo la cavidad. Esta mitad, a fin de dar más brillo al producto, se le deja con agua de refrigeración más caliente que el lado móvil; esta agua es de la torre mientras que el corazón se enfría con chiller.*

***Corazón:** También conocido como macho. Al contraerse el plástico, este se adhiere fuertemente por lo que al abrirse el molde es más fácil desmoldearlo. Esta parte se deja abierto todo el caudal del agua a fin de enfriar la pieza en el menor tiempo posible.*

***Placa porta-cavidad:** Es la que lleva la cavidad o cavidades. También aloja (en este ejemplo) el perno guía. Normalmente es de acero tratado.*

***Placa porta-corazón:** Es la que lleva los corazones o machos. También aloja (en este ejemplo) el buje. Normalmente es de acero tratado.*

***Perno Recuperador:** Su función es la de asegurar que la placa de expulsores se regrese hacia atrás durante el cierre del molde. Esto asegura que los pernos expulsores no peguen en las cavidades. Cuando el sistema de expulsión es hidráulico se debe acoplar el sistema de expulsión al botador de la máquina.*

***Placa de respaldo de corazones:** Soporta toda la presión que ejerce el plástico en la cavidad. Esta debe ser suficientemente gruesa para que no se flexione más allá de 1/2 milésima durante la inyección.*

***Placa de respaldo de cavidades:** Soporta toda la presión que ejerce el plástico en la cavidad. Esta debe ser gruesa pero gracias a que esta montada en la platina*

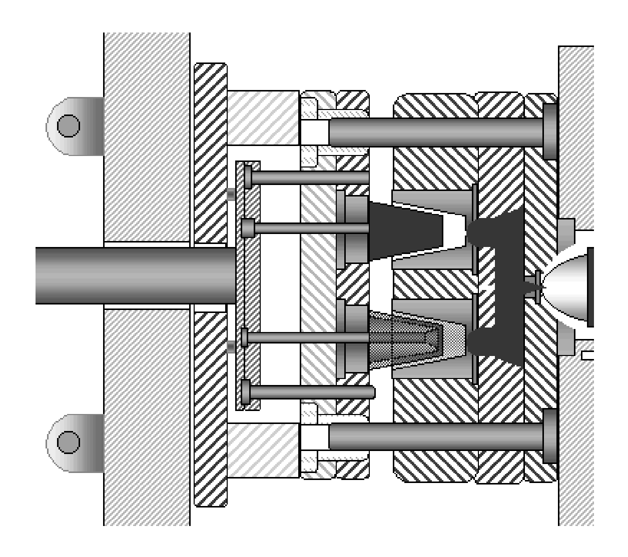
***Perno botador:** Son los elementos que expulsan a la pieza*

Placa retenedora de botadores: ***En esta placa están alojados los pernos botadores y los pernos retenedores.***

Paralelas: están montadas sobre la placa inferior, bajo la placa soporte para formar un espacio que permita moverse a las a las placas expulsoras para expulsar las piezas terminadas.

7.6.3.- Molde de tres placas

En el molde de tres placas, figura 7.23, se obtiene el producto en un nivel y la colada por separado en otro nivel. Se tiene la ventaja de un llenado parejo a todas las cavidades. Note que la nariz se "mete" al interior del molde procurando que no salga nada de colada. El canal de llenado es del tipo trapezoide con lo que se facilita su caída.



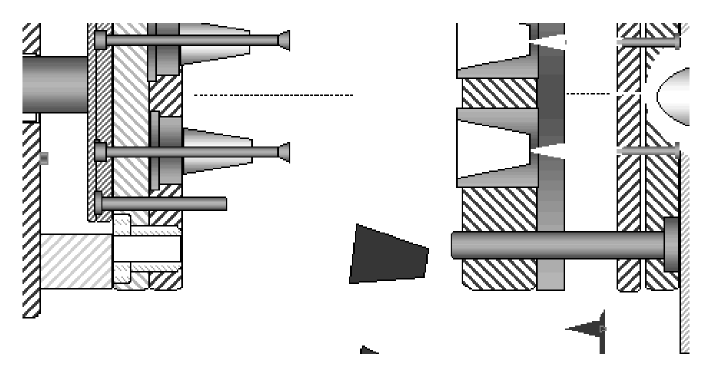


Figura 7.23.- Molde de tres placas

El molde sin sobrantes tiene muchas variables y su objetivo es el de inyectar solo partes útiles. Este tipo de moldes debemos de tender a fabricar ya que desde el punto de vista ecológico no existe desperdicio de energía ya que no se calienta plástico de más, no tenemos que enfriar coladas, no tenemos nada que moler, etc.

7.7.- DISEÑO DEL MOLDE

7.7.1.- Determinación del número de cavidades en un molde.

La cantidad de cavidades se puede calcular.

1.- Por la relación entre el peso o volumen máximo del material correspondiente que puede inyectar la maquina y el peso o volumen del articulo.

Según ello, la cantidad máxima teórica de cavidades será:

F_1 = volumen máximo de inyección de la maquina / (volumen de la pieza + volumen de la vena de colada).

2.- Por la relación entre el rendimiento de plastificación del cilindro inyector y el producto del numero de inyecciones por el volumen del articulo, referido al material correspondiente.

Según ello, el numero de cavidades realizables será:

F_2 = rendimiento de plastificación / [numero de inyecciones x (volumen de la pieza + volumen de la vena de colada)].

Como al realizar un molde con F_1 como numero de cavidades se consume cada vez el volumen total de inyección de la maquina, F_2 solo puede ser menor o igual a F_1.

F_1 Es siempre el valor teórico máximo. No puede emplearse en la practica, ya que no satisface ninguna exigencia de calidad. Las maquinas de inyección trabajan, en la practica, con in grado de aprovechamiento volumétrico de 0.2 a 0.8. De ello se deduce que F_2 debe ser menor o igual a $0.8F_1$.

Sin embargo, no conviene llegar a un valor inferior a $F_2 = 0.4F_1$, ya que, de otro modo, el tiempo de permanencia se hace muy largos y se producen inexactitudes de dosificación.

Otro criterio para determinar el numero de cavidades es el que se basa en la presión de cierre que puede ejercer la maquina de inyección. Durante el proceso de llenado actúa la llamada fuerza expansiva, que tiende a abrir el molde actuando contra la presión de cierre. Si esta fuerza expansiva, que es igual a la suma de las superficies de proyección de las cavidades y canales de llenado multiplicada por la presión en el molde, es mayor que la presión de cierre, se producirán escapes de material fundido entre los planos de partición de molde, lo cual dará como consecuencia rebabas en la pieza.

La fuerza expansiva se puede calcular con la formula

$$F = P.A \quad ....(7.1)$$

Donde:

F = fuerza expansiva.

P = presión del polímero fundido en el interior del molde.

A = la suma de las superficies de proyección de las cavidades y canales.

7.7.2.- Configuración de los canales de entrada y de distribución.

Los canales de distribución constituyen la parte del sistema de alimentación que, en los moldes con el cono de entrada. Tienen la misión de conseguir que el material penetre en todas las cavidades simultáneamente y a igual presión y temperatura.

La masa platificada penetra a gran velocidad en el molde refrigerado. La disipación de calor enfría y solidifica rápidamente la masa que fluye junto a las paredes exteriores. Al mismo tiempo, la masa que fluye por el centro queda aislada respecto a la pared del canal, originándose así un núcleo plástico por el que puede fluir la masa necesaria para el llenado del molde. Este núcleo plástico debe conservarse hasta que la pieza este totalmente solidificada; de este modo adquiere plena eficiencia la presión residual necesaria para compensar la contracción de volumen que ocurre durante el proceso de solidificación.

De esta exigencia deriva la geometría de los canales de distribución. Teniendo en cuenta las razones de ahorro de material, y en virtud de las condiciones de refrigeración, se obtiene que la relación de superficie-volumen debe ser lo menor posible. Lógicamente, las dimensiones del canal dependen del tamaño de la pieza, del tipo de molde y del termoplástico a elaborar. Por lo general, debe considerarse que la sección del canal debe ser mayor cuanto mayor sea la pieza, o bien, para piezas semejantes, cuanto mayor sea su espesor. Una sección grande favorece el llenado, ya que la resistencia al flujo es menor que en los canales estrechos. El termoplástico debe ser tanto mas fluido cuanto más largos sean los canales.

Por otra parte, se tiene la exigencia de producir un articulo con el máximo de rentabilidad. La vena de colada extraída del molde influye en la cantidad de desperdicio y, posiblemente, también en el tiempo de refrigeración cuando las secciones son excesivas respecto al tamaño de la pieza.

Adquiere, pues, gran importancia el dimensionado de los canales, tanto en lo que respecta a la calidad como en cuanto a la rentabilidad de la producción. El canal circular cumple óptimamente la condición de mantener mínima la relación superficie-volumen; con este canal se producen las mínimas perdidas de calor y por rozamiento. Para poder desmoldearlo, tiene que dividirse diametralmente en partes iguales, abarcando la mitad del molde lado boquilla y la mitad lado expulsor, los que resulta de difícil realización.

Por otra parte, el maquinado de este canal circular, al efectuarlo en ambas mitades, encarece al molde. Por ello, puede elegirse una sección que se aproxime a la circular, pero de modo que el canal resultante pueda alojarse en una mitad del molde; para facilitar el desmoldeo, se aplica en la parte móvil del molde.

La sección parabólica es la mas utilizada, por aproximarse mucho a las exigencias citadas y proporcionar solo un poco de desperdicio que el canal circular. En la figura 7.24 se presentan los datos más importantes para el dimensionado del canal parabólico.

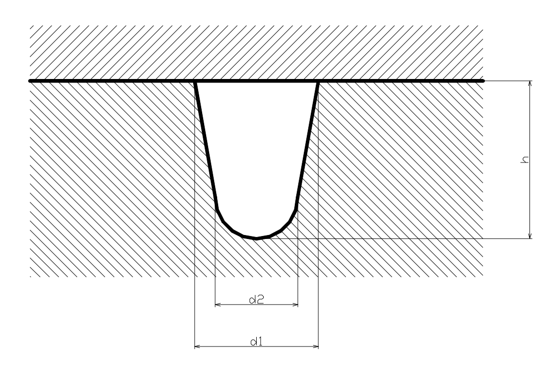


Figura 7.24.- Dimensiones principales del canal parabólico.

La calidad de la superficie de los canales depende de la masa termoplástico a emplear. Por lo general, se puede partirse de la base de que es más favorable no pulir los canales, ya que así se produce un anclaje de la película solidificada junto a la pared, evitándose que sea arrastrada por el núcleo plástico; sin embargo, con algunos materiales se debe efectuar un pulido brillante y, a veces, un cromado, para evitar que se produzcan defectos en la pieza. Tales materiales son, por ejemplo, el PVC, el policarbonato y el poliacetato.

En los moldes múltiples, los canales distribuidos tienen también la misión de conseguir que todas las cavidades se llenen simultáneamente y uniformemente. De producir retrasos en el llenado de unas partes respecto a las otras, la presión residual solo actúa a su debido tiempo en determinadas cavidades, mientras que en el resto se produce prematuramente o demasiado tarde. El modo más sencillo de conseguir un llenado simultaneo consiste, lógicamente, en hacer de igual longitud todas las vías de flujo hacia las cavidades, y en no modificar la sección de los canales de distribución y de estrangulamiento. Para obtener vías de flujo iguales, lo mejor es disponer las cavidades en circulo alrededor del punto central del canal de entrada. Una forma especial de este sistema lo es el canal anular; la masa plástica procedente del canal de entrada llega primeramente a un distribuidor principal en forma de anillos el cual va conectado a las diversas cavidades mediante canales secundarios. Las figuras 7.25 y 7.26 muestran algunas posibilidades de ordenación de los canales distribuidores.

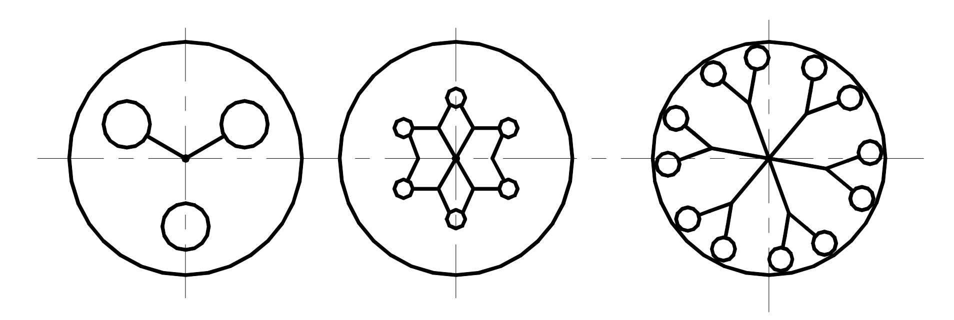


Figura 7.25.- Distribución en estrella.

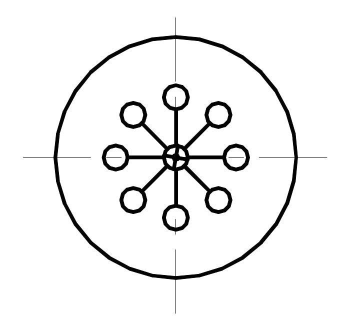


Figura 2.26.- Distribución anular.

Si no es posible una distribución semejante, se emplea el llamado distribuidor de hileras. Este, como se muestra en la figura 7.27, consta de un canal principal y diversos canales secundarios que terminan en el canal de estrangulamiento. Aunque se adoptan secciones distintas para el canal principal y los secundarios, puede ocurrir que las cavidades se llenen en forma desfasada debido a las diferentes caídas de presión. Por esta razón, en la practica, se hacen primero muy pequeños los canales de estrangulamiento que unen el canal de alimentación con la cavidad del molde y, posteriormente, en las inyecciones de ensayo, se van ensanchando hasta que todas las cavidades se llenan simultáneamente.

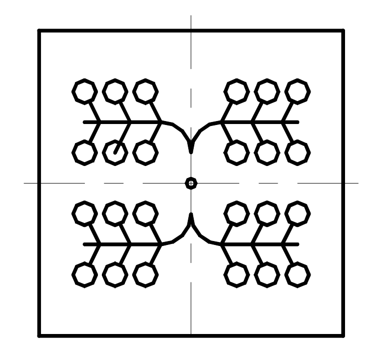
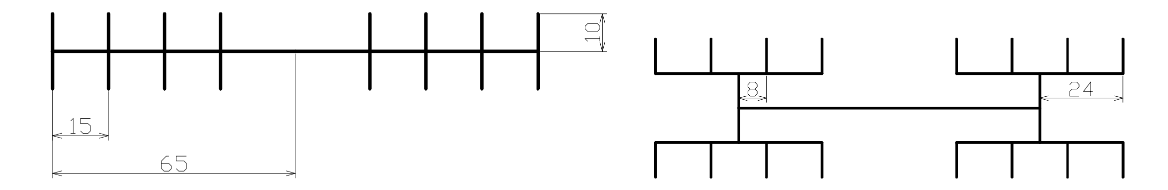
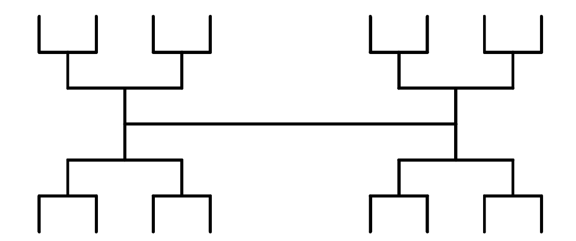


Figura 7.27.- Distribución en hileras.

Además de compensar los distintos tiempos de llenado mediante el ajuste de los canales de corte, otras medidas constructivas cuidan de obtener iguales caminos de flujo y conseguir que todas las cavidades se llenen simultáneamente de material en el mismo estado. Como ejemplo de ello, la figura 7.28 indica como puede resolverse, con la distribución en hilera, el problema de obtener caminos de flujo iguales, sin tener en cuenta el canal de estrangulamiento. Sin embargo, esta solución, aparente favorable, tiene como desventaja el gran volumen del material que solidifica en los canales y se convierte en desperdicio.



a) La ultima cavidad se llena 80 veces mas tarde que la primera. b) La ultima cavidad se llena 16 veces mas tarde que la primera.



c) Tiempos de llenado iguales pero caminos de flujo mas largos y mayor desperdicio.

Figura 7.28.- Configuración de distribución en hileras para conseguir caminos de flujo iguales.

El tiempo necesario para llenar un canal puede determinarse mediante la siguiente relación:

$$t = \frac{Kl^4}{d^4 \Delta p^3} \quad \text{......................(7.2)}$$

Donde:

t = tiempo transcurrido hasta el fin del proceso de llenado.

K = constante.

l = longitud del canal de llenado.

d = diámetro del canal de llenado.

Δp = diferencia de presión en el canal de llenado.

Así pues, si el camino desde el bebedero hasta la ultima cavidad del molde es tres veces mayor que el camino hasta la primera cavidad, como ocurre en el ejemplo (a) de la figura 7.28, la ultima cavidad se llenara aproximadamente 80 veces mas tarde.

7.7.3.- Determinación de la sección de los canales de estrangulamiento.

Si los diámetros de los canales de distribución son iguales, así como las longitudes de los canales de estrangulamiento, las secciones de estos se pueden calcular, en moldes múltiples con caminos de flujo iguales, por la relación:

$$K = \frac{f}{lL^{1/2}} = constante \qquad \text{.........................(7.3)}$$

Donde:

f significa la sección de los canales de estrangulamiento,

l su longitud;

L, la longitud de los canales de distribución, y

F, su sección.

La premisa para el calculo de la sección de los canales de estrangulamiento es que conozca o elija una sección.

Para la primera sección de estrangulamiento se elige generalmente f = 0.07F, y para l, un valor situado entre 0.25 y 2.5 mm. Si la sección de estrangulamiento es rectangular, la cara ancha se establecerá según a ≈3b (figura 7.29).

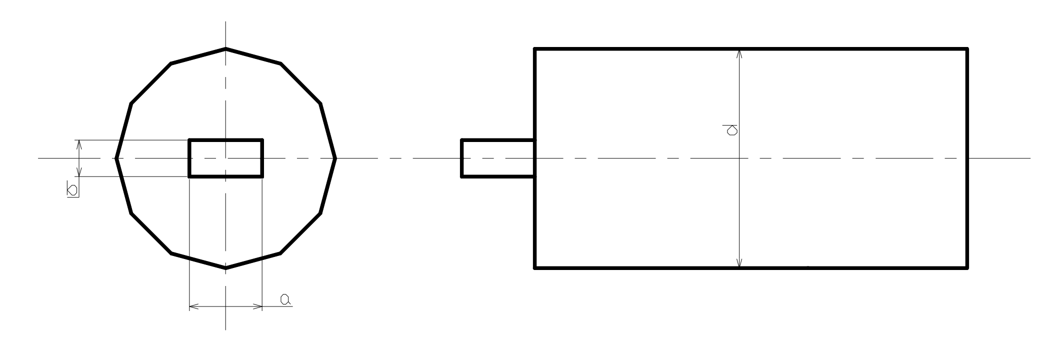


Figura 7.29.- Canal de estrangulamiento rectangular con canal de distribución. (f = a.b; F = $\pi.d^2/4$; a ≈ 3b; l= 0.25 a 2.5 mm; f = (0.07 a 0.1)F; d = diámetro del canal)

7.7.4.- Configuración de los canales de estrangulamiento.

El canal de estrangulamiento es la parte del sistema de alimentación que une la cavidad con el canal distribuidor. Generalmente, es la zona de paso mas estrecha de todo el sistema. Su tamaño y longitud viene determinados por diversas exigencias.

La entrada debe ser lo mas pequeña posible y de fácil desmoldeo, eligiendo su posición en la pieza de modo que n o produzca marcas inoportunas. Con ello se evita un costoso trabajo posterior, que exige tiempo.

Sin embargo, no es posible hacer el canal de estrangulamiento tan pequeño, ya que, por representar un cuello de botella en el sistema de alimentación, opone una considerable resistencia al flujo de la masa plástica, consumiéndose una parte importante de la presión de inyección. La resistencia ofrecida por el canal de estrangulamiento es tanto mayor cuanto mas viscoso es el termoplástico. Al fluir por canales estrechos, el termoplástico, que recorre el sistema de alimentación a alta velocidad durante la inyección, se calienta notablemente. Si el canal de estrangulamiento es demasiado pequeño, no solo obstaculiza el llenado, sino que puede producir también un sobrecalentamiento, con la consiguiente degradación térmica del termoplástico. Por el contrario, si la sección es excesiva, la temperatura de la colada no aumenta o solo un poco, y el material se solidifica en el canal prematuramente. La presión residual para compensar la contracción volumétrica producida al solidificarse la mas, no puede mantenerse durante suficiente tiempo. Las dimensiones del canal de estrangulamiento puede determinarse según las relaciones del subtema 7.7.3. Por tanto, la posición y la forma del canal de estrangulamiento quedan determinadas, en primer lugar, por el tamaño de la pieza, su forma y la viscosidad del termoplástico a utilizar.

Para piezas sencillas se han impuesto, en la practica, las dimensiones registradas en la figura 7.30

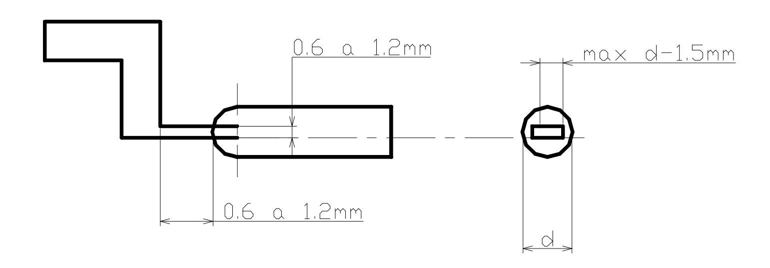


Figura 7.30.- Dimensionado del canal de estrangulamiento.

Con la configuración del canal de corte, el fabricante tiene una ultima posibilidad de corregir el estado de la colada poco antes de que esta penetre en la cavidad. En los moldes múltiples, donde los canales de distribución tienen frecuentemente longitudes desiguales, la diversa constitución de los canales de estrangulamiento pueden conseguir que la resistencia al flujo sea igual en todas partes. Con ello se consigue un llenado uniforme en todas las cavidades.



Tabla A1.- Aceros para herramientas

ACEROS FORTUNA	**Análisis Básico Medio	TRATAMIENTO TERMICO		***DUREZAS DE TRABAJO USUAL	EQUIVALENTE AISI APROXIMADO	CARACTERISTICAS
		TEMPLE	RECOCIDO			
W 18	0.70% C, 4.10% CR, 18.00% W, 1.10V	1260 - 1300° C aceite - aire	870 - 900° C	60- 65 Rc	T1	Acero rápido indicado para herramientas de corte de alto rendimiento.
MO 500	0.83% C, 4.10% Cr, 5.00% Mo,1.90% V, 6.10% W	1190 - 1230° C aceite - aire	870 - 900° C	60- 65 Rc	M2	Acero rápido indicado para herramientas de corte con alta tenacidad.
CA 1220	2.10% C, 12.00% Cr, 0.70% W	925 - 980° C aceite - aire	870 - 900° C	56 - 62 Rc	D3	Alta resistencia al desgaste, para troqueles muy complicados, que cortan espesores hasta 3mm.
CA 1215	1.50% C, 12.00% Cr, 0.95% Mo, 0.35% V	980 - 1025° C aceite - aire	870 - 900° C	56 - 62 Rc	D2	Alta resistencia al desgaste y gran tenacidad. Para corte de chapa hasta 5mm. de espesor. Recomendado para cuños (clavos).
CA 510	1.00% C, 5.00% Cr, 1.10% Mo, 0.80% V	925 - 900° C aire	845 - 870° C	58 - 62 Rc	A2	Acero para troqueles para trabajo en frío de diseño complicado.
SW 55	0.90% C, 1.15% Mn, 0.50% Cr, 0.50% W	760 - 815° C aceite	760 - 790° C	58 - 62 Rc	01	Aceros para troqueles de corte complicado, y cortes hasta 3 mm. de espesor.
WA 255	0.50% C, 1.50% Cr, 2.00% w, 0.20% V	900 - 955° C aceite	790 - 830° C	50 - 58 Rc	S1	Alta resistencia al golpe. Apto para trabajos en frío, troqueles, cuchillas, para chapa gruesa y en caliente (ojo: diferente revenido.)
W 10 V	1.00% C, 0.20% V	760 - 845° C agua	760 - 790° C	55 - 62 Rc	W2	Acero al Carbono para troqueles y herramientas cabeceadoras.
MOG 510V	0.35% C, 5.10% Cr, 1.50% Mo, 1.00% V	995 - 1040° C sales - aire	845 - 900° C	38 - 50 Rc	H13	Acero al Cromo-Molibdeno-Vanadio muy apto para continuos choques térmicos.
MOG 511	0.35% C, 5.10% Cr, 1.50% Mo, 1.00% V	995 - 1025° C sales - aire	845 - 900° C	38 - 50 Rc	H12	Acero al Cromo-Molibdeno-Tungsteno para trabajos en caliente, especialmente dados de forja y herramientas para prensas de extrusión.
NG 2 SUPRA	0.70% C, 0.75% Cr, 1.50% Ni	790 - 845° C aceite	760 - 790° C	48 - 56 Rc	L6	Acero al Cromo-Níquel-Molibdeno para trabajos en caliente, para dados de forja de muy alta tenacidad.
EWX 40	0.12% C máx. 4.60% Cr, 0.70% Mo	970 - 995° C cementado templado-aceite	870 - 900° C	58 - 62 Rc	P4	HOBBING IRON al Cromo-Molibdeno y bajo Carbono, para clavado profundo para moldeo de plástico (pulido espejo).
P 20 ESR	0.36% C, 1.80% Cr, 1.00% Ni, 0.20% Mo	Se suministra con tratamiento térmico de temple revenido		28 - 62 Rc	P20	Acero tratado fabricado por el proceso de Refusión bajo escoria desarrollado para moldes para plástico.
W 11 P	1.00% C	760 - 845° C agua	760 - 790° C	55 - 62 Rc	W1	Acero AISI W1, rectificado plata.
SW 55 P	0.90% C, 1.15% Mn, 0.50% Cr, 0.50% W	790 - 815° C aceite	760 - 790° C	58 - 62 Rc	01	Acero SW (AISI 01) rectificado plata.

"IMPORTANTE"

En la fabricación de herramientas o partes mecánicas, es recomendable diseñarlas evitando:
Ángulos sin radio, Perforaciones de salida, Perforaciones juntas con pared menor al diámetro del barreno, Cambios de sección y marcas de números o letras de golpe.

* Opcional
** Estos análisis pueden variar dentro de la norma
*** La dureza debe ser elegida de acuerdo con el tipo de trabajo en que se aplique la herramienta

.

APENDICE B

Tabla B1.- Ajustes recomendados para ensambles árbol- agujero

	AJUSTES DE USO CORRIENTE			Ejes	H6	H7	H8	H9	H11
Piezas móviles una en relación a la otra	Piezas cuyo funcionamiento requiere de mucho juego (dilatación, mala alineación, apoyos muy largos ,etc)			c				9	11
				d				9	**11**
	Caso corriente de piezas que giran o deslizan sobre un casquillo o cojinete (Engrase correcto asegurado)			e		7	**8**	**9**	
				f	6	6-7	**7**		
	Piezas con guiado preciso para movimientos de poca amplitud			g	5	**6**			
Piezas fijas Una en relación a la otra	Posibilidad de montaje y desmontaje sin deteriorar las piezas	El acoplamiento no puede transmitir esfuerzos	Es posible el montaje a mano	h	**5**	**6**	**7**	**8**	
				js	**5**	6			
			Montaje con mazo de madera	k	**5**				
				m		**6**			
	Imposibilidad de desmontar sin deteriorar las piezas	El acoplamiento puede transmitir esfuerzos	Montaje con prensa	p		**6**			
			Montaje con prensa o por dilatación (comprobar que las dilataciones a que se somete el metal no rebasan el límite elástico)	s			7		
				u			7		
				x			7		

Tabla B2.- Tolerancias para agujeros en μm (micrómetros)

AGUJEROS	Hasta 3 incluido	3 a 6 incluido	6 a 10	10 a18	18 a 30	30 a 50	50 a 80	80 a 120	120 a 180	180 a 250	250 a 315	315 a 400	400 a 500
D 10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 20	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190	+ 440 + 210	+ 480 + 230
F 7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56	+ 119 + 62	+ 131 + 68
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 +20
H 6	+ 6 + 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0
H 7	+ 40 + 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 97 0
H 8	+ 14 + 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0
H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0	+ 400 0
H 12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0	+ 570 0	+ 630 0
H 13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0	+ 890 0	+ 970 0
J 7	+ 4 - 6	+ 6 - 6	+ 8 - 7	+ 10 - 8	+ 12 - 9	+ 14 - 11	+ 18 - 12	+ 22 - 13	+ 26 - 14	+ 30 - 16	+ 36 - 16	+ 39 - 18	+ 43 - 20
K 6	0 - 6	+ 2 - 6	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 2 - 11	+ 3 - 13	+ 4 - 15	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 -24	+5 - 27	+ 7 - 29	+ 8 - 32
K 7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 -12	+ 6 - 15	+ 7 - 18	+ 9 - 21	+ 10 - 25	+ 12 - 28	+ 13 - 33	+ 16 - 36	+ 17 - 40	+ 18 - 45
M 7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
N 7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66	- 16 - 73	- 17 - 80
N 9	- 4 - 29	- 0 - 30	- 0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
P 6	- 6 -12	- 9 - 17	- 12 - 21	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	-36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79	- 51 - 87	- 55 - 95
P 7	- 6 -18	- 8 - 20	- 9 - 24	- 11 - 29	- 14 - 75	- 17 - 42	- 21 - 51	- 24 - 59	- 28 - 68	- 33 -79	- 36 - 88	- 41 - 98	- 45 - 108
P 9	- 9 - 31	- 12 - 42	- 15 - 51	- 18 - 61	- 22 - 74	- 26 - 88	- 32 - 106	- 37 - 124	- 43 - 143	- 50 - 165	- 56 - 186	- 82 - 202	- 68 - 223

Tabla B3.- Tolerancias para árboles o ejes en μm (micrometros)

EJES	Hasta 3 incluido	3 a 6 incluido	6 a 10	10 a18	18 a 30	30 a 50	50 a 80	80 a 120	120 a 180	180 a 250	250 a 315	315 a 400	400 a 500
a 10	- 270 - 330	- 270 - 345	- 280 - 370	- 290 - 400	- 300 - 430	- 320 - 470	- 360 - 530	- 410 - 600	- 580 - 710	- 820 - 950	- 1050 - 1240	- 1350 - 1560	- 1650 - 1900
c 11	- 60 -120	- 70 -145	- 80 - 170	- 95 - 205	- 110 - 240	- 130 - 280	- 150 - 330	-180 + 390	- 230 - 450	- 280 - 530	- 330 - 620	- 400 - 720	- 480 - 840
d 9	- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 75	- 50 - 93	- 65 -117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 190 - 320	- 210 - 350	- 230 - 385
d 10	- 20 - 60	- 30 - 78	- 40 - 98	- 50 - 120	- 65 - 149	- 80 - 180	- 100 - 200	- 120 - 250	- 145 - 305	- 170 - 355	- 190 - 400	- 210 - 440	- 230 - 480
d 11	- 20 - 80	- 30 - 105	- 40 - 130	- 50 - 160	- 65 - 195	- 80 - 240	- 100 - 290	- 120 - 340	- 145 - 395	- 170 - 460	- 190 - 510	- 210 - 570	- 230 - 630
e 7	- 14 - 24	- 20 - 32	- 25 - 40	- 32 - 50	- 40 - 61	- 50 - 75	- 60 - 90	- 72 - 107	- 85 - 125	- 100 - 146	- 110 - 162	- 125 - 182	- 135 - 198
e 8	- 14 - 28	- 20 - 38	- 25 - 47	- 32 - 59	- 40 - 73	- 50 - 89	- 60 - 106	- 72 - 126	- 85 - 148	- 100 - 172	- 110 - 191	- 125 - 214	- 135 - 232
e 9	- 14 - 39	- 20 - 50	- 25 - 61	- 32 - 75	- 40 - 92	- 50 - 112	- 60 - 134	- 72 - 159	- 85 - 185	- 100 - 215	- 110 - 240	- 125 - 265	- 135 - 290
f 6	- 6 - 12	- 10 - 18	- 13 - 22	- 16 - 27	- 20 - 33	- 25 - 41	- 30 - 49	- 36 - 58	- 43 - 68	- 50 - 79	- 56 - 88	- 62 - 98	- 68 - 108
f 7	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 56 - 106	- 62 - 119	- 68 - 131
f 8	- 6 - 20	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 64	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 106	- 50 - 122	- 56 - 137	- 62 - 151	- 68 - 165
g 5	- 2 - 6	- 4 - 9	- 5 - 11	- 6 - 14	- 7 - 16	- 9 - 20	- 10 - 23	- 12 - 27	- 14 - 32	- 15 - 35	- 17 - 40	- 18 - 43	- 20 - 47
g 6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 15 - 44	- 17 - 49	- 18 - 54	- 20 - 60
h 5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 23	0 - 25	0 - 27
h 6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 32	0 - 36	0 - 40
h 7	0 - 10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
h 8	0 - 14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 46	0 - 54	0 - 63	0 - 72	0 - 81	0 - 89	0 - 97
h 9	0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
h 10	0 - 40	0 - 48	0 - 58	0 - 70	0 - 84	0 - 100	0 - 120	0 - 140	0 - 160	0 - 185	0 - 210	0 - 230	0 - 250
h 11	0 - 60	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	0 - 320	0 - 360	0 - 440
h 13	0 - 140	0 - 180	0 - 220	0 - 270	0 - 330	0 - 390	0 - 460	0 - 540	0 - 630	0 - 720	0 - 810	0 - 890	0 -970
j 6	+ 4 - 2	+ 6 - 2	+ 7 - 2	+8 - 3	+ 9 - 4	- 11 - 5	+ 12 - 7	+ 13 - 9	+ 14 - 11	+ 16 - 13	+ 16 - 16	+ 18 - 18	+ 20 - 20
js 5	+ 2 - 2	+ 2.5 - 2.5	+ 3 - 3	+4 - 4	+ 4.5 - 4.5	+ 5.5 - 5.5	+ 6.5 - 6.5	+ 7.5 - 7.5	+ 9 - 9	+ 10 - 10	+ 11.5 - 11.5	+ 12.5 - 12.5	+ 13.5 - 13.5
js 6	+ 3 - 3	+ 4 - 4	+ 4.5 - 4.5	+ 5.5 - 5.5	+ 6.5 - 6.5	+ 8 - 8	+ 9.5 - 9.5	+ 11 - 11	+ 12.5 - 12.5	+ 14.5 - 14.5	+16 - 16	+ 18 - 18	+ 20 - 20
js 9	+ 12 - 12	+ 15 - 15	+ 18 - 18	+ 21 - 21	+ 26 - 26	+ 31 - 31	+ 37 - 37	+ 43 - 43	+ 50 - 50	+ 57 - 57	+ 65 - 65	+ 70 - 70	+ 77 - 77
js 11	+ 30 - 30	+ 37 - 37	+ 45 - 45	+ 55 - 55	+ 65 - 65	+ 80 - 80	+ 95 - 95	+ 110 - 110	+ 125 - 125	+ 145 - 145	+ 160 - 160	+ 180 - 180	+ 200 - 200
k 5	+ 4 0	+ 6 + 1	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4	+ 29 + 4	+ 32 + 5
k 6	+ 6 0	+ 9 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 36 + 4	+ 40 + 4	+ 45 + 5
m 5	+ 6 + 2	+ 9 + 4	+ 12 + 6	+ 15 + 7	+ 17 + 8	+ 20 + 9	+ 24 + 11	+ 28 + 13	+ 33 + 15	+ 37 + 17	+ 43 + 20	+ 46 + 21	+ 50 + 23
m 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 57 + 21	+ 63 + 23
n 6	+ 10 + 4	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17	+ 39 + 20	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 66 + 34	+ 73 + 37	+ 80 + 40
p 6	+ 12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56	+ 98 + 62	+ 108 + 68



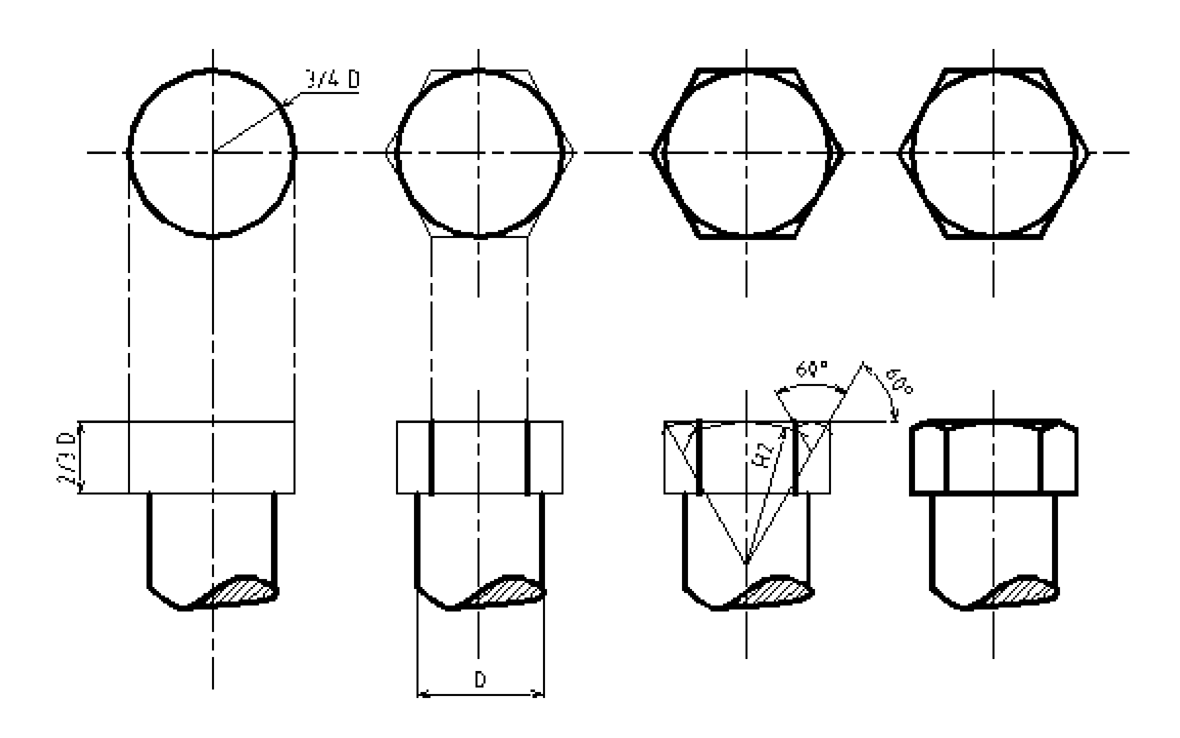


Figura C1.- Trazado de una cabeza hexagonal

Tabla C.1.- Características geométricas de las roscas métricas

DIAMETRO NOM. en mm	*DIAMETRO DEL NUCLEO (X) en mm*	*PASO (F) en mm*	*PROF. DE LA ROSCA (P) en mm*	*DIAMETRO DE LA BROCA*
1.6	1.1706	0.35	0.2147	1.25
1.8	1.3706	0.35	0.2147	1.45
2.0	1.5092	0.40	0.2454	1.60
2.2	1.6480	0.45	0.2760	1.75
2.5	1.9480	0.45	0.2760	1.75
3.0	2.3866	0.5	0.3067	2.5
3.5	2.7638	0.6	0.3681	2.9
4.0	3.1412	0.7	0.4294	3.3
4.5	3.5798	0.75	0.4501	3.8
5.0	4.0184	0.8	0.4908	4.2
6.0	4.7732	1	0.6134	5
7.0	5.7732	1	0.6134	6
8.0	6.4664	1.25	0.7668	6.8
10.0	8.1596	1.5	0.9202	8.5
12.0	9.8535	1.75	1.0735	10.2
14.0	11.5462	2	1.2269	12
16	13.5462	2	1.2269	14.0
18	14.9328	2.5	1.5336	15.5
20	16.9328	2.5	1.5336	17.5
22	18.9328	2.5	1.5336	19.5
24	20.3194	3	1.8403	21.0
27	23.3194	3	1.8403	24
30	25.7060	3.5	2.1470	26.6
33	28.7060	3.5	2.1470	29.5
36	31.0924	4.0	2.4538	32.0
39	34.0924	4.0	2.4538	35.0
42	36.4790	4.5	2.7605	37.05
45	39.4790	4.5	2.7605	40.5
48	41.8646	5.0	3.0672	43
50	45.8646	5.0	3.0672	47

Tabla C.2.- Características geométricas de las roscas americanas (UNC y UNF)

DIAMETRO NOM. en plg.	SERIE DE ROSCAS ESTANDAR (UNC Y NC)		SERIE DE ROSCAS FINAS (UNF Y NF)	
	HILOS POR PULGADA	DIA. DE LA BROCA en plg.	HILOS POR PULGADA	DIA. DE LA BROCA en plg.
0.060			80	3/64
1.073	64	No. 53	72	No. 53
2.086	56	No. 50	64	No. 50
3.099	48	No. 47	56	No. 45
4.112	40	No. 43	48	No. 42
5.125	40	No. 38	44	No. 37
6.138	32	No. 36	40	No. 33
8.164	32	No. 29	36	No. 29
10.190	24	No. 25	32	No. 21
12.216	24	No. 16	28	No. 14
¼	20	No. 7	28	No. 3
5/16	18	F	24	I
3/8	16	5/16	24	Q
7/16	14	U	20	25/64
1/2	13	27/64		
9/16	12	31/64	18	33/64
5/8	11	17/32	18	37/64
¾	10	21/32	16	11/16
7/8	9	49/64	14	13/16
1	8	7/8	12	29/64
1 1/8	7	63/64	12	1 3/64
1 ¼	7	1 7/64	12	1 11/64
1 3/8	6	1 7/32	12	1 19/64
1 ½	6	1 11/32	12	1 27/64
1 3/4	5	1 9/16		
2	4 1/2	1 25/32		
2 1/4	4 1/2	2 1/32		
2 1/2	4	2 ¼		
2 3/4	4	2 ½		
3	4	2 ¾		
3 1/4	4	3		
3 1/2	4	3		
3 3/4	4	3 ½		
4	4	3 ¾		
Profundidad de la rosca = 0.62 (paso)				



Tabla D.1.- Velocidad de corte, avance y lubricación para las operaciones de desbaste y afine en el torno

MATERIAL DE LA PIEZA	MATERIAL DE LA HERRAMIENTA	DESBASTE		AFINE		LUBRICACION
		Vc (m/min)	S (mm/rev)	Vc (m/min)	S (mm/rev)	
ACERO BAJO CARBONO	W	14	0.5	20	0.2	A.S
	T o M	22	1	30	0.5	A.S
	Carburo	150	2.5	250	0.25	A.S
ACERO MEDIO CARBONO	W	10	0.5	15	0.2	A.S
	T o M	20	1	24	0.5	A.S
	Carburo	120	2.5	200	0.25	A.S
ACERO ALTO CARBONO	W	8	0.5	12	0.2	A.S
	T o M	15	1	20	0.5	A.S
	Carburo	80	2	140	0.2	A.S
ACERO P/HMTA.	T o M	12	1	16	0.5	A.S
	Carburo	30	0.6	50	0.15	A.S

W→ Acero para herramientas del grupo W

T o M → Acero para herramienta alta velocidad
A.S → Aceite Soluble.

Tabla D.2.- Velocidad de corte, avance y lubricante para la operación de barrenado utilizando brocas de acero rápido.

MATERIAL	*DIÁMETRO DE LA BROCA (mm)*							*LUBRICACION*
		5	*10*	*15*	*20*	*25*	*30*	
ACERO BAJO CARBONO	*s*	*0.1*	*0.18*	*0.25*	*0.28*	*0.31*	*0.34*	AS o C
	Vc	*15*	*18*	*22*	*26*	*29*	*32*	
ACERO MEDIO CARBONO	*s*	*0.1*	*0.18*	*0.25*	*0.28*	*0.31*	*0.35*	*AS o C*
	Vc	*13*	*16*	*20*	*23*	*26*	*28*	
ACERO ALTO CARBONO	*s*	*0.07*	*0.13*	*0.16*	*0.19*	*0.21*	*0.23*	*AS o C*
	Vc	*12*	*14*	*16*	*18*	*21*	*23*	
FUNDICIÓN GRIS (NORMAL)	*s*	*0.15*	*0.24*	*0.3*	*0.32*	*0.35*	*0.38*	*S o AS*
	Vc	*24*	*28*	*32*	*34*	*37*	*39*	
FUNDICIÓN GRIS (ALTA RESISTENCIA)	*s*	*0.15*	*0.24*	*0.3*	*0.33*	*0.35*	*0.38*	*S o AS*
	Vc	*16*	*18*	*21*	*24*	*26*	*27*	
LATON	*s*	*0.1*	*0.15*	*0.22*	*0.27*	*0.3*	*0.32*	*AS o C*
	Vc	*65*	*65*	*65*	*65*	*65*	*65*	
BRONCE	*s*	*0.1*	*0.15*	*0.22*	*0.27*	*0.3*	*0.32*	*S*
	Vc	*35*	*35*	*35*	*35*	*35*	*35*	
Al. PURO	*s*	*0.05*	*0.12*	*0.2*	*0.3*	*0.35*	*0.4*	*T o C*
	Vc	*95*	*95*	*95*	*95*	*95*	*95*	
Al.(ALEACIONES)	*s*	*0.12*	*0.2*	*0.3*	*0.4*	*0.46*	*0.5*	*S*
	Vc	*125*	*125*	*125*	*125*	*125*	*125*	
MAGNESIO	*s*	*0.15*	*0.2*	*0.3*	*0.38*	*0.4*	*0.45*	*S*
	Vc	*225*	*225*	*225*	*225*	*225*	*225*	

Vc → Velocidad de corte en m/min
s → Avance en mm/rev
AS → Aceite soluble
C → Aceite de colza
S → En seco.

Tabla D.3 .- Velocidades de corte recomendadas para operaciones de cepillado y mortajado (m/min)

MATERIAL	Avance en milímetros/carrera								
	0.16	0.25	0.4	0.6	1	1.6	2.5	4.0	HMTA
St37 a St44			75	67	60	53			C
NOM-1022		25	22	18	14	12	10	9	HSS
St70			42	36	20	25			C
NOM-1060		16	12						HSS
Aceros aleados		8.5	6.5	5	4	3			HSS
Aceros aleados			25	20	17	15			C
Fundición de acero		16	12	10	8	7	6	4.5	HSS
Hierros fundidos		12	9	7	5.6	5	4		HSS
Hierros fundidos	36	32	28	26	25	22			C
Al. fundido		40	32	25	20	18	16		HSS
Al. fundido	200	180	160	140	125	112	100	90	C

C-→ Herramientas de carburo HSS → Herramienta de acero alta velocidad

Tabla D.4.- Velocidad de corte (vel. Periférica) de la rueda en m/s.

MATERIAL	RECTIFICADO CILÍNDRICO		RECTIFICADO INTERIOR	
	Aglutinante	Vel. De corte	Aglutinante	Vel. De corte
ACERO	CERÁMICO	25-35	CERÁMICO	20-25
FUNDICIÓN GRIS		20-25		20-25
ALEACIONES LIGERAS		15		15

Tabla D.5.- Velocidad periférica de la pieza en m/min.

MATERIAL	ACABADO	RECTIFICADO CILÍNDRICO	RECTIFICADO INTERIOR
		Velocidad periférica	Velocidad periférica
ACERO SIN TRATAR	Desbaste	12-15	16-21
	Afine	9-12	
ACERO TRATADO	Desbaste	14-16	18-23
	Afine	9-12	
FUNDICIÓN GRIS	Desbaste	12-15	18-23
	Afine	9-12	
LATÓN	Desbaste	18-20	25-30
	Afine	14-16	
ALUMINIO	Desbaste	40-50	32-35
	Afine	28-35	

Tabla D.6.- Avance lateral por revolución de la pieza, en fracciones de la anchura de la rueda.

MATERIAL	RECTIFICADO CILÍNDRICO		RECTIFICADO INTERIOR	
	Desbaste	Afine	Desbaste	Afine
ACERO	2/3 a ¾	¼ a 1/3	½ a ¾	1/5 a ¼
FUNDICIÓN GRIS	¾ a 5/6	1/3 a ½	2/3 a ¾	¼ a 1/3

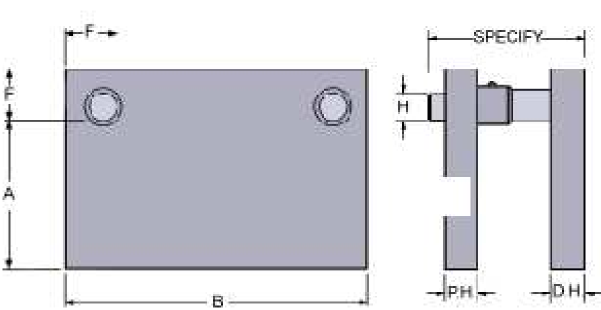
Tabla D6 .- Velocidades de corte y avances recomendadas para cortadores de aceros rápido (HSS)

MATERIAL POR FRESAR	AVANCE EN mm/diente						
	Vc (m/min)	CORTADOR FRONTAL	CORTADOR CILINDRICO	LATERAL Y FRONTAL	CORTADOR RANURADOR	SIERRA	CORTADOR VERTICAL
ALUMINIO	70-100	0.2-0.8	0.2-0.6	0.15-0.4	0.1-0.2	0.05-0.1	0.1-0.4
LATON ROJO	35-50	0.15-0.6	0.15-0.5	0.1-0.3	0.07-0.015	0.35-0.075	0.07-0.3
BRONCE	20-35	0.07-0.3	0.07-0.25	0.05-0.15	0.04-0.07	0.02-0.04	0.04-0.15
HIERRO FUNDIDO GRIS	25-40	0.1-0.4	0.1-0.3	0.07-0.2	0.05-0.1	0.025-0.05	0.05-0.2
COBRE	35-45	0.1-0.4	0.1-0.3	0.07-0.2	0.05-0.1	0.025-0.05	0.05-0.2
ACERO BAJO CARBONO	30-40	0.1-0.4	0.1-0.3	0.07-0.2	0.05-0.1	0.025-0.05	0.05-0.2
ACERO MEDIO CARBONO	20-30	0.07-0.03	0.07-0.25	0.05-0.15	0.04-0.07	0.02-0.04	0.04-0.15
ACERO ALEADO	5-8	0.05-0.2	0.05-0.15	0.035-0.1	0.025-0.05	0.015-0.025	0.025-0.1
PLASTICO TERMOESTABLE	20-30	0.15-0.6	0.15-0.5	0.1-0.3	0.07-0.15	0.035-0.075	0.07-0.03



E.1.- Die sets comerciales

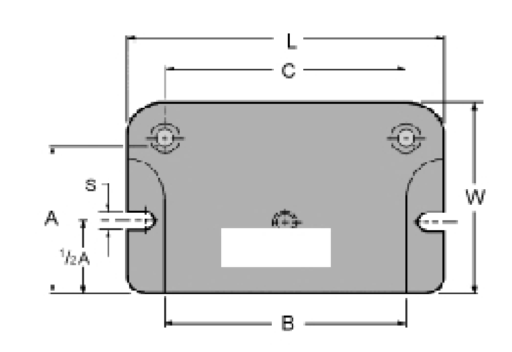


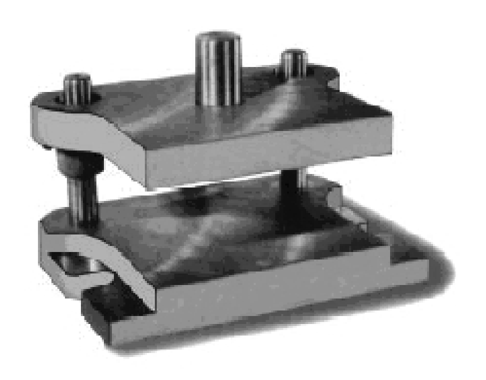


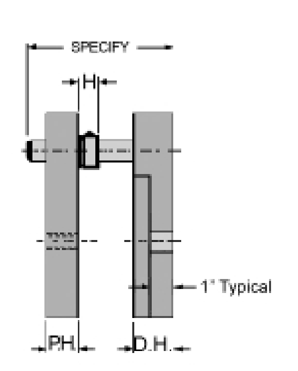
SIZE A	SIZE B	PIN Dia.	P.H. 1½	D.H. 1½	WEIGHT	P.H. 1½	D.H. 2	WEIGHT	P.H. 2	D.H. 1½	WEIGHT	P.H. 2	D.H. 2	WEIGHT
	8				60			70			70			80
	10				75			90			90			100
6	12	1½	150	150	90	150	200	105	200	150	105	200	200	120
	14				105			120			120			140
	18				135			160			160			180
	8				75			85			85			100
	10				95			110			110			125
8	12	1½	150	150	110	150	200	130	200	150	130	200	200	150
	14				130			150			150			175
	18				170			195			195			220
	10				110			125			125			150
10	12	1½	150	150	135	150	200	155	200	150	155	200	200	180
	14				155			180			180			205
	18				205			235			235			270
	12				160			185			185			210
12	14	1½	150	150	185	150	200	215	200	150	215	200	200	245
	18				235			275			275			315
14	14	1½	150	150	210	150	200	240	200	150	240	200	200	275
	18				270			310			310			355

SHANKS AVAILABLE

$1\frac{1}{2}$" dia. x $2\frac{1}{8}$	(1-1/4-12 NF)
2" dia. x $2\frac{7}{8}$	(1-1/4-12 NF)
$2\frac{1}{2}$" dia x $2\frac{7}{8}$	(1-1/2-12 NF)
3" dia. x 3	(1-1/2-12 NF)







A	B	C	S	W	L	P.H.	D.H.	H.	Pin Dia.	Pin Len.	Weight
3	3	3	13/16	4 1/2	5 1/2	1	1 1/4	1 1/4	3/4	SPECIFY WHEN ORDERING	15
3	4	4		4 5/8	6 5/8	1	1 1/4	1 1/4	3/4		20
4	4	4	1 1/16	5 5/8	6 5/8	1	1 1/4	1 1/4	3/4		25
4	6	6		6	9	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1		40
4	8	8		6	11	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1		50
5	5	5		7	8	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1		45
5	7	7		7	10	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1		55
5	9	9		7	12	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1		65
6	6	6		8	9	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1		55
6	8	8		8	11	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1		70
6	10	10		8 1/4	13 1/4	1 1/2	1 3/4	1 1/2	1 1/4		100
7	7	7		9 1/4	10 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2	1 1/4		75
7	9	9		9 1/4	12 1/4	1 1/2	1 3/4	1 1/2	1 1/4		105
8	8	8		10 1/4	11 1/4	1 1/2	1 3/4	1 1/2	1 1/4		120
8	10	10		10 1/4	13 1/4	1 1/2	1 3/4	1 1/2	1 1/4		125

SHANKS AVAILABLE

1 1/2 dia. x 2 1/8	(1 1/4-12 NF)
2 dia. x 2 7/8	(1 1/4-12 NF)
2 1/2 dia. x 2 7/8	(1 1/2-12 NF)
3 dia. x 3	(1 1/2-12 NF)

BIBLIOGRAFÍA

1.- Aceros, estructuras y tratamientos térmicos
Felipe Díaz del Castillo Rodríguez y Alberto Reyes Solís.
Fes- Cuautitlán. México 2003.

2.- Norma Oficial Mexicana Para el Dibujo Técnico
Dirección General de Normas.
Secretaria de Patrimonio y Fomento Industrial. México, 1976.

3.- Dibujo Industrial
A. Chevalier.
Montaner y Simón. Barcelona, 1979

4.-Diseño Mecánico 1, Normas Básicas
M. Dehmlov y E. Kiel.
Ed. Trillas. México, 1980

5.- Tecnología de Diseño y Fabricación de Piezas Mecánicas.
A. Chevalier y J. Bohan.
Limusa. México, 1998.

6.- Dibujo Técnico Básico
Armando Alfonzo Alfonzo
Compañía General de Ediciones. S.A. México, 1980.

7.- Dibujo y Diseño de Ingeniería
Cecil H. Jensen
Mc. Graw Hill. México, 1973

8.- Ingeniería de manufactura.
Ulrich Scharer Sauberli, José Antonio Rico Mora, Joaquín Cruz Sánchez, Leonides Solares y Raúl Moreno Ponce.
Editorial Continental S.A. de C.V. México. Primera edición.

9.- Materiales y procesos de manufactura..
John E. Neely y Richard R. Kibbe.
Editorial Limusa. Primera edición.

10.- Alrededor de las máquinas herramientas
Heinrich Gerling
Ed. Reverté. Barcelona 1981.

11.- Diseño de moldes para inyección de termoplásticos
Oscar Mateo Márquez
Tesis profesional. Fes-Cuautitlán. 1998.

12.- Elaboración de un programa para computadora para el cálculo de tiempos tecnológicos en maquinas-herramientas.
Francisco Alejandro Santiago Ramírez
Tesis profesional. Fes-Cuautitlán. 1998.

13.- Análisis y diseño de un troquel para la fabricación de una hebilla para cinturón.
Antonio Rodríguez Domínguez
Tesis profesional .Fes-Cuautitlán

14.- Proceso de forja en caliente.
Marcos Miguel Hernández Cruz.
Tesis profesional. Fes-Cuautitlán. 2003.

15.- www.anchorlamina.com
16.- www.geocities.com/capacitacio_en_plasticos.